COLECȚIA ELECTRICIANULUI

Ioan Kerekes

CONECTAREA CORECTĂ A APARATELOR ELECTRICE DE MĂSURĂ TRIFAZATE

Lucrarea constituie un îndrumător tehnologic pentru conectarea fără erori de conexiune a aparatelor electrice trifazate de inducție (wattmetre, varmetre, contoare, relee de protecție și altele).

În carte este prezentată metodologia de verificare și corectare a conexiunilor trifazate de măsură, bazată pe analiza acestora, în starea lor de funcționare, cu ajutorul diagramei fazoriale. Se tratează, pe rînd, realizarea conexiunii corecte a aparatelor cu trei sisteme wattmetrice și a aparatelor cu două sisteme active care funcționează pe principiul măsurării puterii trifazate prin „metoda celor două wattmetre" De asemenea, aspectele tehnico-economice privind coeficienții de corecție, considerațiile practice de sesizare a erorilor la contoare trifazate precum și consecințele economice ale conexiunilor eronate (la pierderi comerciale și pierderi tehnice de energie electrică) expuse au putere de sensibilizare pentru îmbunătățirea tehnologiei de exploatare a instalațiilor electrice de măsură.

CUPRINS

1. Introducere 5
2. Funcționarea instalației de măsură 12
   2.1. Funcționarea incorectă a aparatului de măsurat datorită conectării sale necorespunzătoare 14
      2.1.1. Deranjamente în circuitele de tensiune 14
      2.1.2. Erori de conexiune în circuitele de tensiune . . . 17
      2.1.3. Erori de conexiune în circuitele de curent 19
   2.2. Consecințele erorilor de conexiune 22
3. Diagrama fazorială ca mijloc de analiză a conexiunilor aparatului de măsură trifazat 26
   3.1. Reprezentarea vectorială a tensiunilor și curenților în sistemul alternativ trifazat 26
      3.1.1. Diagrama fazorială a mărimilor electrice care acționează în contorul trifazat cu trei sisteme active, la conectare corectă 28
      3.1.2. Diagrama fazorială a mărimilor electrice care acționează în contorul trifazat, avînd două sisteme de măsurare, la conectare corectă 34
   3.2. Ridicarea diagramei fazoriale pe baza măsurărilor efectuate în instalația aflată în funcțiune 41
      3.2.1. Principiul construcției grafice 41
      3.2.2. Ridicarea diagramei fazoriale pentru aparatul cu trei sisteme de măsurare 44
      3.2.3. Ridicarea diagramei fazoriale pentru aparatul trifazat cu două sisteme de măsurare 48
4. Conectarea corectă a aparatului trifazat cu trei sisteme de măsurare 53
   4.1. Verificarea conexiunii realizate 53
   4.2. Valorificarea rezultatelor obținute prin verificare . . . 53
5. Conectarea corectă a aparatului trifazat cu două sisteme de măsurare 61
   5.1. Reconstituirea montajului realizat 61
   5.2. Corelații între diagramele fazoriale și schemele variantelor de conexiune ale circuitelor de curent 63
      5.2.1. Circuite de curent cu patru conductoare 76
      5.2.2. Circuite de curent cu trei conductoare 78
   5.3. Influența modului de legare la pămînt a bornelor secundare ale transformatoarelor de curent 80
      5.3.1. Cazul montajului realizat cu trei conductoare 80
      5.3.2. Cazul montajului realizat cu patru conductoare 81

5.4. Corectarea conexiunii circuitelor de tensiune 86
5.5. Reconstituirea schemei și corectarea legăturilor circuitelor de curent 88
5.5.1. Identificarea curenților ce acționează în sistemele active *I* și *III* ale aparatului verificat 88
5.5.2. Reconstituirea schemei conexiunilor circuitelor de curent 90
5.5.3. Modificarea legăturilor pentru corectarea circulației curenților în sistemele active ale aparatului conectat 93
6. Aspecte tehnico-economice 99
6.1. Determinarea coeficientului de corecție 100
6.1.1. Exemplificarea determinării coeficientului de corecție pentru contorul trifazat de energie electrică activă cu două sisteme de măsură (CA-32) 101
6.1.2. Exemplificarea determinării coeficientului de corecție pentru contorul trifazat de energie reactivă cu două sisteme de măsură (CR-32) 103
6.1.3. Coeficienții de corecție în diferite variante de funcționare 106
6.2. Considerații practice privind depistarea variantelor de funcționare eronate în cazul contoarelor CA—32 și CR—32 116
6.3. Efectele economice negative ale conexiunilor eronate 121
6.3.1. Pierderi financiare (comerciale) la decontarea consumului de energie electrică 123
6.3.2. Pierderi economice ce pot rezulta datorită determinării eronate a consumului propriu tehnologic de energie electrică din rețele 128
Bibliografie 139

1. Introducere

Instalația electrică trifazată de măsură

În decursul exploatării rețelelor mărimile caracteristice referitoare la calitatea și cantitatea energiei electrice consumate se urmăresc cu ajutorul aparatelor electrice de măsură monofazate sau trifazate, după caz.

Dacă rețeaua electrică funcționează la tensiune joasă, bobinele de tensiune ale aparatelor de măsură se racordează direct la fazele circuitului primar al rețelei. De asemenea, și bobinele de curent pot fi înseriate direct în acest circuit dacă încărcarea lui nu depășește curentul nominal al aparatelor de măsurat în cauză. În situația cînd curentul instalației urmărite poate crește peste valoarea nominală a aparatelor de măsură, bobinele de curent ale acestora din urmă, se conectează prin intermediul unor transformatoare de curent.

În cazul rețelelor de curent alternativ, mărimile caracteristice de bază (curent, tensiune) ale energiei electrice pot fi transformate. Datorită acestei posibilități, bazată pe inducție electromagnetică, chiar dacă circuitul funcționează la medie sau înaltă tensiune, toate mărimile electrice caracteristice (tensiune, curent, frecvență, putere, energie, defazaj) se pot măsura cu ajutorul aparatelor electrice de măsură amintite, dar prin conectarea lor indirectă. În acest scop tensiunea și curentul circuitului primar (de medie sau înaltă tensiune) se transformă la valorile nominale ale aparatelor de măsură cu ajutorul transformatoarelor de măsură. Transformarea (reducerea) valorii tensiunilor se realizează cu ajutorul transfor-

matoarelor de tensiune (TT), iar a curenților cu ajutorul transformatoarelor de curent (TC).

Înfășurările primare ale transformatoarelor de măsură se racordează la fazele rețelei electrice urmărite, iar aparatele de măsură se conectează la înfășurările secundare ale acestor transformatoare prin intermediul circuitelor secundare. Desigur, indicațiile aparatelor de măsură conectate indirect se multiplică cu raporturile de transformare în cauză pentru aflarea valorii mărimilor din circuitul primar.

Ansamblul ce cuprinde transformatoarele de măsură, racordate la un circuit electric trifazat, aparatele de măsură și control conectate la înfășurările secundare ale acestora, inclusiv circuitele secundare cu toate elementele lor componente (conductoare, punți de pămîntare, siguranțe, șir de conectoare, blocuri de încercare) constituie instalația electrică trifazată de măsură.

De obicei, tensiunea secundară a instalației de măsură este de 100 V între faze și $100/\sqrt{3}$ V pe fază, iar curentul nominal este 5A sau 1 A.

Scheme de conexiune ale circuitelor de măsură

La sistemele trifazate de curent alternativ se utilizează rețele cu patru conductoare (trei faze și nul) în cazul alimentării consumatorilor cu energie electrică la tensiunea de 380/220 V, și trei conductoare de fază (fără nul) pentru transportul și distribuția energiei electrice la medie și înaltă tensiune (10,20, 110 kV etc.) În cazul unor consumatori speciali (în lucrări subterane, în minerit) se folosește, și la tensiunea de utilizare de 380 V, distribuția prin linii cu trei conductoare de fază cu neutrul izolat.

Corespunzător tipului de rețea electrică trifazată, pentru măsurări electrice (putere, energie etc.), se folosesec aparate de măsură (wattmetre, contoare etc.) cu trei sisteme active la rețelele cu patru conductoare și aparate cu două sisteme active în cazul rețelelor cu trei conductoare. Un

sistem activ într-un aparat de măsură wattmetric constă dintr-o bobină de curent, o bobină de tensiune și un magnet permanent, elemente care într-o corelație bine determinată constructiv, acționează prin inducție electromagnetică asupra echipamentului mobil, imprimîndu-i un cuplu de rotire. Aparatul cu trei sisteme active măsoară mărimile de pe faze și le însumează, iar aparatul cu două sisteme active înregistrează puterea, respectiv energia trifazată, pe principiul măsurării puterii trifazate prin „metoda celor două wattmetre". Schema electrică principială a aparatelor trifazate se indică în figurile 1.1 și 1.2.

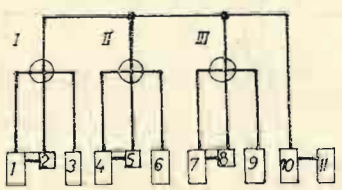


Fig. 1.1. Schema de principiu a aparatului trifazat cu trei sisteme de măsură.

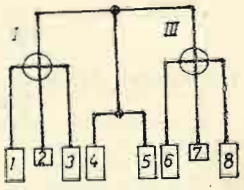


Fig. 1.2. Schema de principiu a aparatului trifazat cu două sisteme de măsură.

În cazul rețelelor electrice de joasă tensiune care alimentează consumatori de mică putere (pînă la un curent de 30—40 A), instalația de măsură poate fi în montaj direct, deci fără transformatoare de tensiune și fără transformatoare de curent, ca în figura 1.3.

Pentru o sarcină mai mare de 30—40 A, aparatele de măsură se conectează prin intermediul transformatoarelor de curent de 30/5, 50/5, 75/5, 100/5, 150/5 A și așa mai departe (fig. 1.4.). Astfel, contoarele trifazate de $3 \times 380/220$ V (C A—43) pot fi conectate „în montaj direct" (fig. 1.3.), sau „în montaj semidirect" (fig. 1.4), pe cînd contoarele trifazate utilizate la medie și înaltă tensiune (CA—32 și CR—32) se racordează „în montaj indirect" ca în figura 1.5.

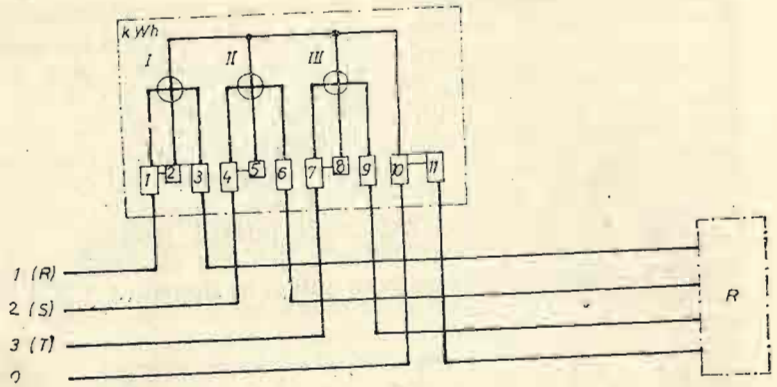


Fig. 1.3. Schema de conectare directă pentru aparatul trifazat cu trei sisteme de măsură.

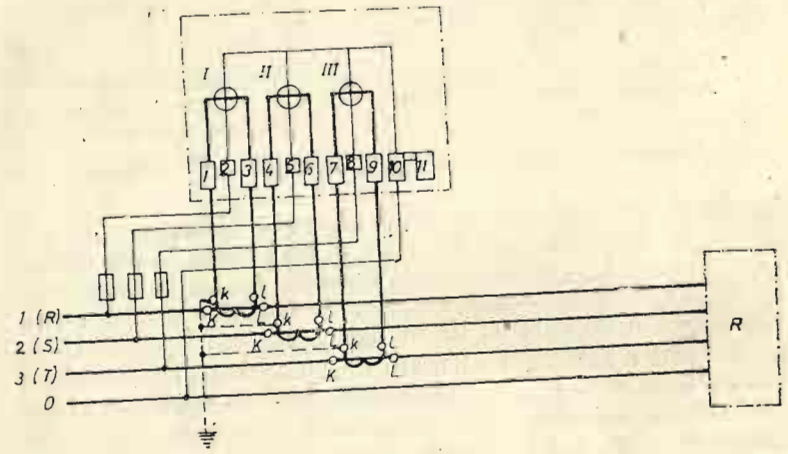


Fig. 1.4. Schemă de conectare semidirectă pentru aparatul trifazat cu trei sisteme de măsură.

În figurile 1.6, 1.7, 1.8, şi 1.9 se indică exemplificativ schemele de conexiune ale unor instalaţii trifazate de măsură des întîlnite în sistemul electroenergetic.

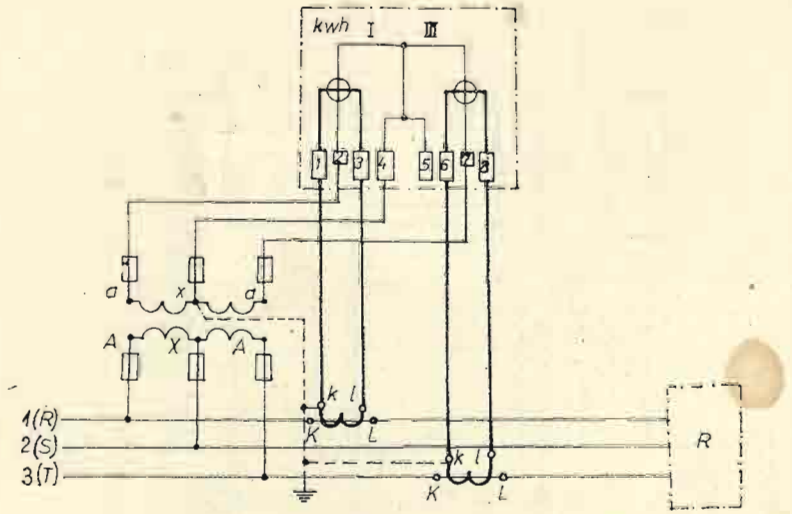


Fig. 1.5. Schemă de conectare indirectă pentru aparatul trifazat cu două sisteme de măsură.

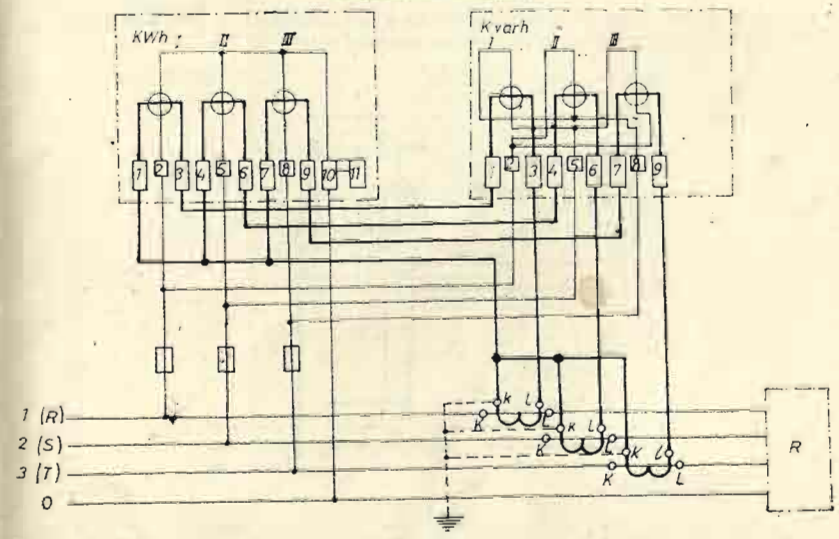


Fig. 1.6. Schemă de conectare semidirectă a ansamblului de contoare trifazate cu trei sisteme pentru măsurare a energiei active şi a energiei reactive.

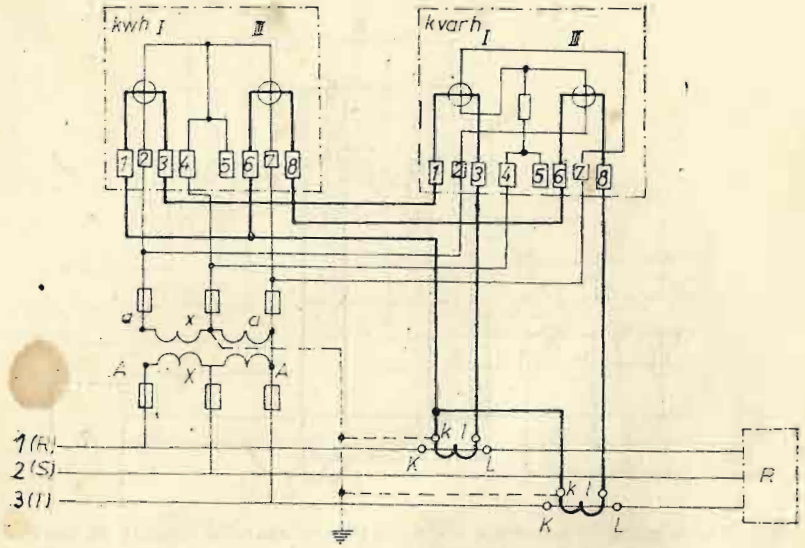


Fig. 1.7. Schemă de conectare indirectă a ansamblului de contoare trifazate cu două sisteme pentru măsurarea energiei active și energiei reactive.

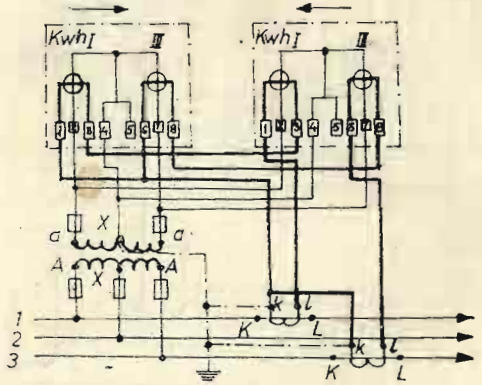


Fig. 1.8. Schema de conectare indirectă a două contoare pentru măsurare a energiei active în ambele sensuri.

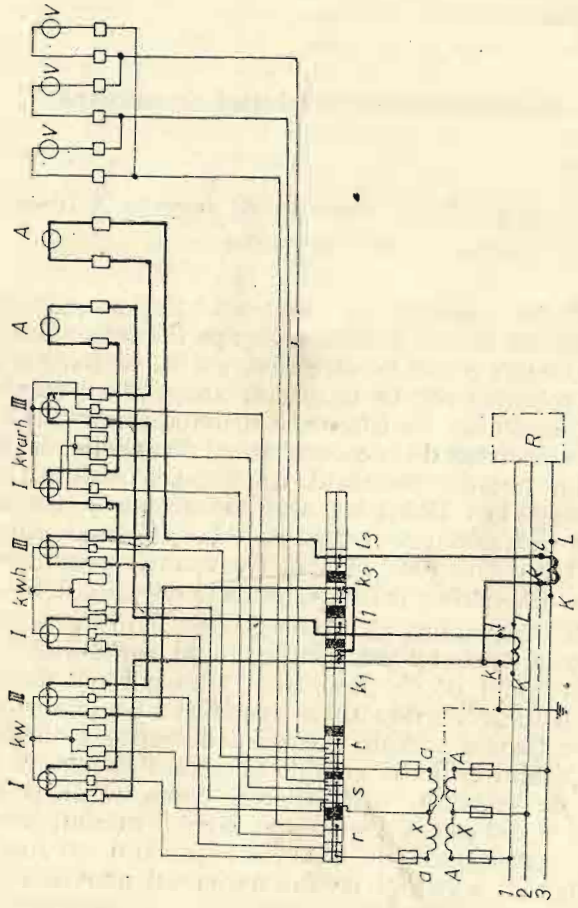


Fig. 1.9. Conectarea indirectă a unui grup de aparate de măsură, prin intermediul șirului de conectori.

2. Funcționarea instalației de măsură

Importanța și condițiile funcționării corecte a instalației de măsurat

Instalațiile electrice de măsură se regăsesc în toate nodurile sistemului electroenergetic : pe fiecare sistem (secție) de bare din centrale electrice, stații electrice ridicătoare și coborîtoare de tensiune, stații de conexiune, stații și posturi de transformare distribuitoare cît și din instalațiile electrice de la consumatorii de energie electrică. Importanța acestor instalații de măsură rezultă însăși din destinația lor. Rolul lor este măsurarea și controlul mărimilor caracteristice referitoare la calitatea energiei electrice, cum sînt tensiunea și frecvența, precum și la încărcarea circuitelor (curenți, puteri, energii, defazaje).

Gospodărirea chibzuită a energiei electrice presupune cu umărirea ei în mod permanent, pe toate treptele de transmitere : începînd de la producere, transport, distribuție și pînă la utilizare. Întocmirea periodică a balanțelor cantitative pe fiecare treaptă parcursă de energia electrică, urmărind schimburile de energie și putere la noduri și la punctele de consum, evidențierea consumului propriu tehnologic și reducerea acestuia la nivelul minim, impune existența instalațiilor de măsurare precum și funcționarea corectă a acestora pe tot parcursul exploatării rețelelor electrice. Urmărirea calitativă și cantitativă a energiei electrice, precum și a funcționării instalațiilor de producere, transport și distribuție se realizează prin intermediul unui număr important de instalații de măsură, respectiv cu ajutorul unui număr și mai mare de diverse

aparate de măsură indicatoare și înregistrare, conectate în grup în circuitele secundare ale acestor instalații.

Conectarea corectă a aparatelor în circuitele secundare ale grupului de măsură constituie o condiție fundamentală pentru ca aceste aparate să funcționeaze corespunzător destinației lor. Realizarea conectării corecte, în practică, îmbracă aspecte multiple.

Dacă reglarea aparatelor de măsură, verificarea periodică a funcționării și etalonarea lor este organizată, se efectuează în laboratoare amenajate în acest scop și constituie obiectul preocupării organelor tehnice specializate ale metrologiei de stat ; aceeași importanță trebuie acordată și conectării corecte a acestor aparate în circuitele instalației de măsură.

Pentru a racorda corect un aparat, mai ales în sisteme trifazate, pe baza cunoașterii tipului rețelei electrice și construcției aparatului, trebuie să se respecte schema de montaj dată de fabrica producătoare a aparatului. De asemenea, trebuie să se țină seamă de succesiunea fazelor rețelei și de polaritatea transformatoarelor de măsură. Cu alte cuvinte, după conectarea în circuitele de măsură, fiecare sistem activ al aparatului trebuie să fie parcurs de curent cu polaritatea bine determinată, de pe faza corespunzătoare identificată din rețea și să fie pus sub tensiunea fazei sau dintre faze, după caz, aferentă curentului de acționare. Erorile de conexiune se datoresc în primul rînd unor greșeli de montaj : nerespectarea concordanței dintre bornele transformatoarelor de măsură și ale aparatului conectat (schimbarea legăturilor între ele), nerespectarea polarității transformatoarelor de măsură la racordarea lor în circuitele primare, nerespectarea succesiunii fazelor de tensiune la bornele aparatului conectat, racordarea bobinelor de tensiune din aparat la tensiuni străine. Aceste greșeli pot rezulta atît datorită scăpărilor lucrătorului montator cît și unor marcări greșite a bornelor transformatoarelor de măsură din fabrică. Verificarea funcționării sub sarcină a aparatelor de măsură se impune și în cazul în care montatorul a realizat un montaj controlat prin identificarea legăturilor fir cu fir (vizual sau prin sunarea circuitelor) pentru depistarea și ; eliminarea

eventualelor erori de fabricație ascunse în legăturile interioare ale transformatoarelor și aparatelor de măsură sau a unor discontinuități din circuite ce pot apărea la contacte.

Exploatarea și întreținerea aparatelor electrice, pe parcursul utilizării lor, comportă intervenții repetate în circuitele lor de racordare, ocazii cînd, de asemenea, se pot introduce erori în conexiuni. Exigențele de continuitate în alimentare cu energie electrică precum și necesitatea verificării sub sarcină a funcționării instalațiilor de măsurat, impun executarea acestor operațiuni de intervenții și verificări cu instalațiile primare aflate în funcționare, deci sub tensiune. În asemenea condiții este imperios necesar să fie puse la dispoziția executanților metode adecvate și expeditive pentru verificarea și atestarea conexiunii corecte.

2.1. Funcționarea incorectă a aparatului de măsurat datorită conectării sale necorespunzătoare

2.1.1 Deranjamente în circuitele de tensiune

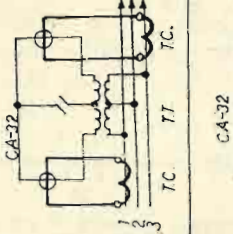
Premergător analizei funcționării incorecte datorită conexiunilor greșite, se trec în revistă unele deranjamente (întreruperi) ce pot apărea în circuitele de tensiune.

Se consideră deranjament lipsa continuității circuitelor datorită: arderii siguranței; întreruperilor în legăturile exterioare și la contacte (slăbirea contactelor, întreruperilor de legături din interiorul aparatului sau al transformatorului de tensiune. Arderea siguranței primare sau secundare, ca și orice discontinuitate totală sau parțială a unui element anulează o parte din circuitul trifazat de tensiune. În tabelul 2.1 s-au exemplificat efectele deranjamentelor din circuitele de tensiune ale aparatului de măsură trifazat, avînd două sisteme active.

Din tabel rezultă că întreruperea legăturii de tensiune de pe faza de mijloc din circuitul trifazat, face ca înregistrarea aparatului să fie numai de circa 50% ($K \approx 2$).

Tabelul 2.1

Exemplificarea deranjamentelor în circuitele de tensiune

Specificația deranjamentului	Schema	Efectul fizic al deranjamentului la aparatul de măsură	Coeficientul de corecție K	Exemplificarea valorii lui K (la $\varphi = 20°$)
Întrerupere în faza de mijloc[2]: — discontinuitate în interiorul aparatului de măsură		$u_{12} \approx \frac{U}{2}$ ($\approx 50V$) $U_{23} \approx \frac{U}{2}$ ($\approx 50V$) $U_{13} = U$ ($= 100V$) Lipsa tensiunii fazei de mijloc	≈ 2	≈ 2
Întreruperea circuitului secundar de tensiune în primul sistem activ al aparatului de măsură (discontinuitatea fazei 1 a transformatorului de tensiune)		Inactivitatea primului sistem activ al aparatului de măsură	$\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3} + \operatorname{tg}\varphi}$	1,56
Întreruperea circuitului secundar de tensiune în cel de al doilea sistem activ al aparatului de măsură (discontinuitatea fazei 3 a transformatorului de tensiune)		Inactivitatea celui de al doilea sistem activ al aparatului de măsură	$\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3} - \operatorname{tg}\varphi}$	2,76

În acest caz special al întreruperii fazei comune celor două bobine de tensiune ale aparatului, eroarea de măsurare este independentă de valoarea defazajului φ. În celelalte două cazuri exemplificate eroarea de măsură este influențată și de valoarea defazajului, ceea ce complică problema determinării corecției (v. cap. 6).

Un exemplu de anomalie, în circuitele secundare alimentate din grupul de transformatoare de tensiune montate în „V" se prezintă în figura 2.1.

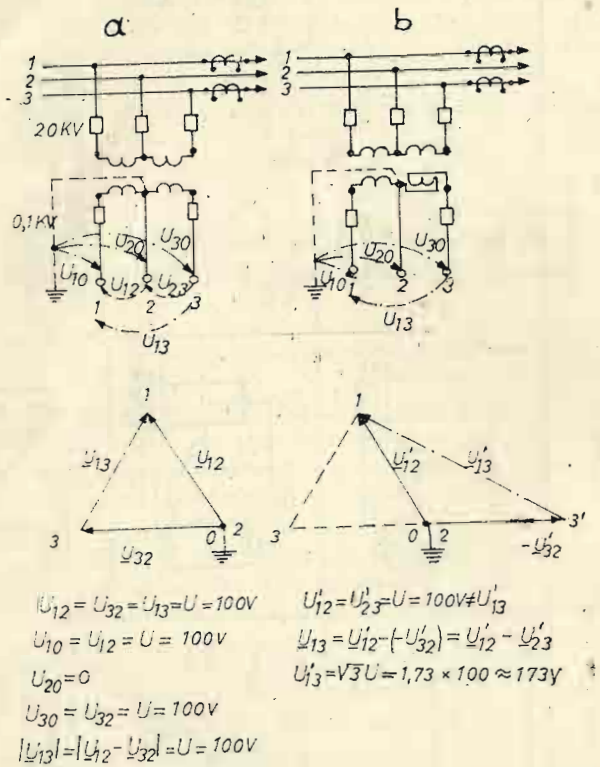


Fig. 2.1. Schema de conectare în „V" a două transformatoare de tensiune bifazate:
a — conexiune internă corectă; *b* — conexiune internă eronată.

În acest exemplu, în cazul conexiunii corecte (fig. 2.1, *a*), tensiunile măsurate între oricare pereche de borne sînt egale între ele, respectiv $U_{12} = U_{32} = U_{13} = U = 100$ V.

Datorită legăturilor interioare greșite (sau marcării eronate a bornelor) ale unuia dintre transformatoarele de tensiune conectate în „V", tensiunile de la două perechi de borne pot să fie egale între ele ($U_{12} = U_{23} = 100$ V), dar la cea de a treia pereche de borne se va constata o tensiune diferită și anume mai mare decît la primele ($U' = 173\text{V} = \sqrt{3} \cdot 100$ V). În figura 2.1, *b* este prezentată această greșeală de fabricație și consecința ei demonstrată prin diagrama fazorială a tensiunilor rezultate. După cum sînt prezentate în figură, legăturile unui transformator de tensiune sînt inversate în interiorul carcasei și astfel marcarea bornelor nu corespunde cu realitatea. Știut fiind că simetria și egalitatea tuturor celor trei tensiuni, de asemenea, constituie condiții pentru măsurări corecte, nu se admite ca să funcționeze instalația (grupul) de măsură cu deranjamente și nici cu greșeli de fabricație. Verificarea funcționării corecte la punere în funcțiune cît și supravegherea acestor condiții în decursul exploatării, respectiv eliminarea operativă a deranjamentelor ce pot apărea, sînt necesități tehnologice specifice instalațiilor electrice în general și în cazul instalațiilor de măsură în mod special.

2.1.2. Erori de conexiune în circuitele de tensiune

În afara eventualelor greșeli ascunse de fabricație și deranjamente, funcționarea instalației de măsură poate fi influențată negativ de unele erori în legăturile, prin care se realizează circuitul trifazat de tensiune, dintre sursa de alimentare (rețeaua primară, transformatoarele de tensiune) și aparatul de măsurare. Astfel de erori pot constitui:

— racordarea celor trei faze de tensiune la bornele aparatului într-o ordine de succesiune inversă;

— neconcordanță între fazele de tensiune și curentul

din faza rețelei la sistemul activ al aparatului conectat (aplicarea de tensiune străină);

Schimbarea între ele a legăturilor de tensiune și a celor de curent este o eroare evidentă care nici nu se ia în considerație pentru a fi studiată, ca și cauză de eroare de măsurare. Efectul imediat al unei asemenea erori grosolane va fi scurtcircuitul electric și arderea izolațiilor din aparat. De altfel, identificarea legăturilor de tensiune și distingerea lor de cele de curent este la îndemîna electricianului, folosind în acest scop voltmetrul (indicatorul de tensiune) din dotarea sa.

Ordinea de succesiune a fazelor poate condiționa corectitudinea măsurării consumului de energie electrică, în funcție de tipul constructiv al contorului trifazat de energie electrică activă. În cazul contoarelor trifazate pentru energia electrică reactivă, schimbarea ordinei de succesiune a fazelor echivalează cu o greșeală de conectare, deci constituie eroare de conexiune. De regulă, aparatele de măsură pentru energia reactivă se conectează în aceeași instalație de măsură ca și aparatele pentru energia activă, motiv pentru care, din principiu, în toate cazurile se va asigura conectarea fazelor de tensiune la bornele aparatelor, în succesiunea directă.

Neconcordanța dintre bornele de tensiune ale aparatului trifazat și fazele sursei de tensiune poate apărea datorită posibilităților multiple de conectare pe care le oferă cele trei legături de faze permutabile, în modul reprezentat în figura 22, numărul acestor posibilități, putîndu-se calcula cu ajutorul relației (2.1):

$$N_u = 3\ ! = 1.2.3. = 6, \qquad (2.1)$$

în care N_u reprezintă numărul variantelor de conectare posibile a celor trei legături.

Potrivit schemei de conectare cunoscute (v. fig. 1.5) singura variantă corectă, dintre cele șase posibile, este

schema circuitului trifazat de tensiune indicată în varianta 1 din fig. 2.2.

Menționăm că în cazul aparatelor trifazate de măsurat avînd două sisteme active, dacă acestea se alimen-

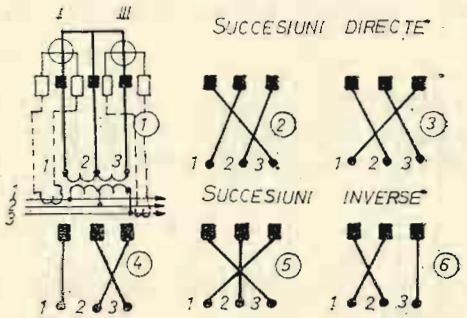


Fig. 2.2. Variante de conexiuni posibile la legăturile exterioare ale circuitului de tensiune trifazat.

tează cu tensiuni secundare printr-un grup de două transformatoare de tensiune bifazate, montate în schema V, este obligatorie aplicarea fazei de mijloc a grupului la borna care unește sfîrșiturile bobinelor de tensiune ale aparatului.

2.1.3. Erori de conexiune în circuitele de curent

În cazul legăturilor de curent, provenite de la bornele secundare ale transformatoarelor de curent (fiind accesibile numai capetele lor de la șirul de conectori sau bornele aparatului de măsură), de asemenea, pot fi realizate mai multe variante de conectare. Bineînțeles, dintre variantele, de conexiunui posibile, funcționarea corectă a aparatului de măsură o va asigura numai varianta care satisface principiile teoretice, respectiv corespund schemelor prezentate la capitolul 1 (fig. 1.1—1.9). Toate celelalte variante de conexiuni vor cauza măsurări eronate.

Numărul variantelor de conexiune, la un sistem de montaj dat, este determinat de posibilitățile de permutare a legăturilor de la bornele aparatului.

La sistemul de montaj cu patru fire (fig. 2.3.), exemplificat cu ajutorul unui aparat trifazat cu două sisteme active, în speță contorul trifazat CA—32, variantele de

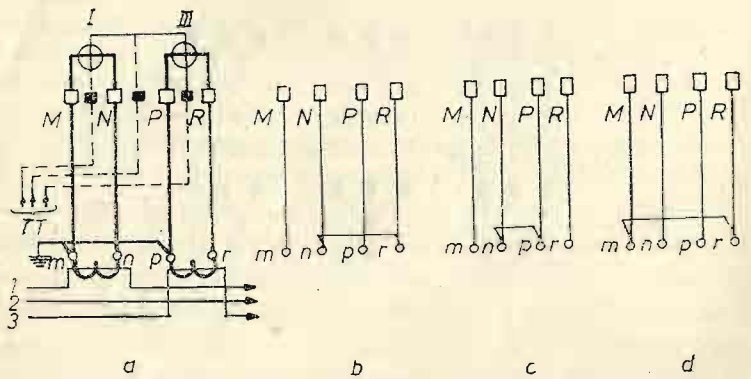


Fig. 2.3. Sistem de montaj cu patru fire pentru circuitul bifazat de curent, în variantele cu punte la transformatoare de curent de tipurile *a,b,c,* și *d*.

conectare ale legăturilor sînt determinate, pe de o parte, de permutabilitatea celor patru legături de la bornele de curent ale aparatului, simbolizate cu literele *M*, *N*, *P*, *R*, în ordinea de la stînga spre dreapta.
Numărul (n_i) al variantelor de conectare, determinat deci de permutabilitatea celor patru legături de curent conform relației (2.2) rezultă:

$$n_i = 4! = 1.2.3.4 = 24. \qquad (2.2)$$

Pe de altă parte se au în vedere și cele patru posibilități de realizare a punții la transformatoarele de curent, legătură ce se creează în mod inerent prin legarea la pămînt, din considerente de protecție, a circuitului secundar al fiecărui transformator de curent. Aceste tipuri de punte (*a*, *b*, *c*, *d*) determină patru cazuri distincte ce pot avea loc într-o instalație. Numărul (n_t) al acestor patru variante de realizare a punții de pămîntare se poate exprima și matematic, el rezultînd din combinația celor patru borne secundare, luate cîte două și scăzînd cele două cazuri corespunzătoare șuntării transformatoarelor de curent conform expresiei:

$$n_t = C_4^2 - 2 = 4 \qquad (2.3)$$

În sfîrșit, numărul total de variante de conexiune posibile în circuitele de curent rezultă din produsul celor două numere aflate prin relațiile (2.2 și 2.3), astfel:

$$N_i = n_i \; n_t = 24 \cdot 4 = 96 \text{ variante.} \qquad (2.4)$$

(A se vedea și tabelul 2.2., rîndul 3 și coloana 4).

La sistem de montaj cu trei fire și punte la aparat (v. fig. 2.4) numărul de variante de conexiune determinat de permutabilitatea celor trei legături de curent rezultă:

$$n_i = 3! = 1.2.3. = 6. \qquad (2.5)$$

Există însă variante suplimentare, datorită legăturii de punte de la bornele aparatului conectat. Puntea de la aparat se realizează între bornele de curent de la cele două sisteme active, cu scopul închiderii celui de al doilea circuit, o legătură ce sosește de la transformatoarele de curent fiind utilizată în comun. Tipurile de „punte de la aparat" se disting prin numerele *1*, *2*, *3* și *4* consacrate, după cum puntea este realizată între bornele de început, bornele de sfîrșit, borna de sfîrșit a bobinei de curent din primul sistem activ și borna de început a bobinei din cel de al doilea sistem și respectiv între borna de început a bobinei din primul sistem și borna de sfîrșit a bobinei din cel de al doilea sistem activ.

Numărul n_a al variantelor de punte la aparat poate fi exprimat (ca și numărul variantelor de punte de la transformatoarele de curent) prin relația (23), deci $n_a = C_4^2 - 2 = 4$.

Numărul total de variante de conexiune posibile, în cazul sistemului de montaj cu trei fire și punte la aparat, rezultă după relația (2.6) :

$$N_i = n'_i\, n_a\, n_t = 6 \cdot 4 \cdot 4 = 96 \text{ variante.} \qquad (2.6)$$

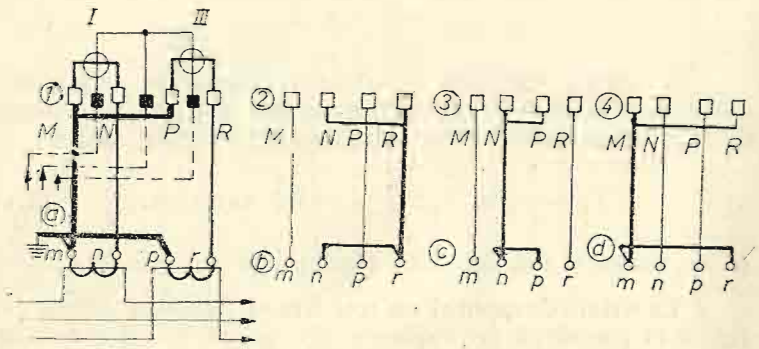


Fig. 2.4. Sistem de montaj cu trei fire pentru circuitul bifazat de curent, în variantele cu punte la aparat de tipurile *1,2,3,* și *4.*

Se remarcă faptul că la montajul cu trei fire atît puntea de la aparat cît și puntea de la transformatoare de curent au rol funcțional, făcînd parte integrantă din circuitul bifazat de curent.

Numărul variantelor de conexiune posibile, pentru aparatele trifazate cu trei sisteme active și cu două sisteme active, în funcție de sistemele de montaj și în cele trei ipoteze practice de identificare a legăturilor secundare de tensiune și de curent, calculat ca mai sus, sînt redate în tabelul 2.2.

2.2. Consecințele erorilor de conexiune

Lipsa continuității vreunei legături din circuitele de măsură, are ca urmare în primul rînd măsurări eronate. Întreruperea accidentală a circuitului de curent, în afara erorii de măsurare, poate duce la apariția unei tensiuni

periculoase la locul de întrerupere, la încălzirea excesivă și chiar la arderea izolației transformatorului de curent. Erorile datorate deranjamentelor (întreruperilor de circuite), în general se pot sesiza relativ mai ușor și ca urmare se intervine și se elimină prin remedierea deranjamentelor respective.

În cazul greșelilor de conexiune (circuitele își mențin continuitatea), pot• persista timp îndelungat erori de măsurare ce depășesc cu mult erorile de funcționare (interne) tolerate în clasele de precizie ale aparatelor de măsură. Aceste erori duc la denaturarea substanțială a mărimilor electrice urmărite.

Pentru evaluarea mărimii erorii de măsură datorată conexiunii greșite, trebuie să se ia în considerare faptul că cuplul de acționare dezvoltat prin sistemele active ale aparatelor de măsură diferă mai mult sau mai puțin de cuplul real (cel care ar rezulta la conectare corectă), în funcție de varianta de conexiune realizată.

Deosebirea dintre cuplul real M și cel rezultat datorită conexiunii eronate M_e, se exprimă matematic prin raportul lor, numit coeficient de corecție K :

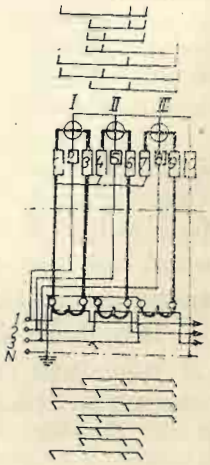
$$K = \frac{M}{M_e} = \frac{P}{P_e} = \frac{E}{E_e}. \qquad (2.7)$$

Prin modul de prezentare a relației (2.7) s-a evidențiat faptul că acest raport poate fi exprimat și prin puterea reală P și cea eronată P_e, precum și prin energia reală E și cea eronată E_e, știut fiind că, între aceste mărimi și cuplu există proporționalitate directă.

În cazul aparatelor de măsură, coeficientul K reprezintă un factor de corecție cu care trebuie înmulțită indicația acestor aparate pentru a obține valoarea reală a mărimii electrice urmărite, potrivit relațiilor (2.8) :

$$M = K\, M_e; \quad P = K\, P_e \text{ sau } E = K\, E_e. \qquad (2.8)$$

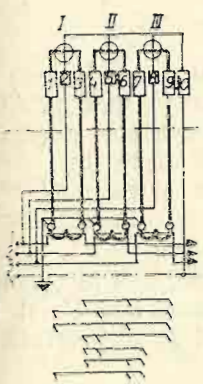
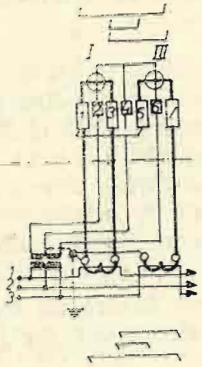
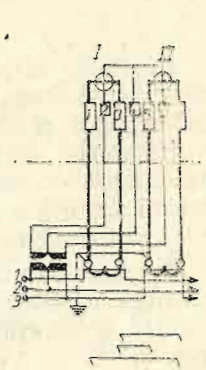
Numărul variantelor de conexiune realizabile la conectarea

Condiţiile de identificare a legăturilor de racordare exterioare		Aparate cu 3 Circuite 4 fire
Schemele de montaj ale instalaţiilor de măsură	Porţile accesibile şi în timpul funcţionării	
	Părţile ascunse: inaccesibile în timpul funcţionării	
Numărul maxim al variantelor de conexiuni posibile (natura legăturilor exterioare nu este identificată)		2 580 480
Legăturile de tensiune sînt distincte de cele de curent şi de legătura de nul		46 080
Legăturile fazelor de tensiune sînt identificate şi racordate corect la aparat		7680

Din punct de vedere practic, constituie problemă destul de dificilă stabilirea coeficientului de corecţie, deoarece pentru aceasta, în prealabil trebuie reconstituită schema,

Tabelul 2.2.

aparatului electric trifazat în circuitele de măsură

sisteme active	Aparat cu 2 sisteme active	
de curent realizate cu:		
6 fire	3 fire	4 fire
		
29 030 400	11 520	20 160
241 920	576	576
40 320	96	96

adică identificată conexiunea eronată dintre multiplele variante posibile şi apoi determinată relaţia după care funcţionează aparatul de măsură. Asupra acestei probleme, a coeficientului de corecţie, se revine în capitolul 6.

3. Diagrama fazorială ca mijloc de analiză a conexiunilor aparatului de măsură trifazat

3.1.1. Reprezentarea vectorială a tensiunilor și curenților în sistemul alternativ trifazat

Mărimile alternative (tensiunea și intensitatea) ale curentului electric, în afara exprimării lor în mod analitic, prin expresii matematice, pot fi reprezentate și grafic: fie prin curbe sinusoidale, fie prin vectori rotitori denumiți fazori. Reprezentarea tensiunilor și curenților cu ajutorul fazorilor permite studierea și a conexiunilor pe baza unor imagini vectoriale caracteristice.

Pentru sistemul electric trifazat imaginea (diagrama) vectorială a celor trei fazori de tensiune $\underline{U}_1$, $\underline{U}_2$ și $\underline{U}_3$, respectiv a fazorilor curenților $\underline{I}_1$, $\underline{I}_2$ și $\underline{I}_3$ se prezintă ca în fig. 3.1.

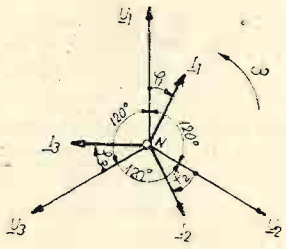


Fig. 3.1. Reprezentarea vectorială a tensiunilor și curenților de fază.

Se poate vedea că fazorii de tensiune $\underline{U}_1$, $\underline{U}_2$, și $\underline{U}_3$ sînt defazați între ei cu cîte 120° și se rotesc cu aceeași viteză unghiulară ω în jurul punctului nul (N), într-o succesiune dată *1*, *2*, *3*, formînd sistemul fazorilor de tensiuni. În mod similar și fazorii de curenți $\underline{I}_1$, $\underline{I}_2$ și $\underline{I}_3$ se constituie într-un sistem rotitor. Curentul și tensiunea, purtînd același indice, aparțin aceleiași faze a sistemului electric alternativ trifazat, fazele fiind numerotate cu *1*, *2* și *3* (sau R, S și T). Sistemul fazorilor de curenți se rotește cu aceeași viteză unghiulară ω, dar curenții pot fi în fază, defazați în urma sau înaintea tensiunilor ca în figura 3.2.

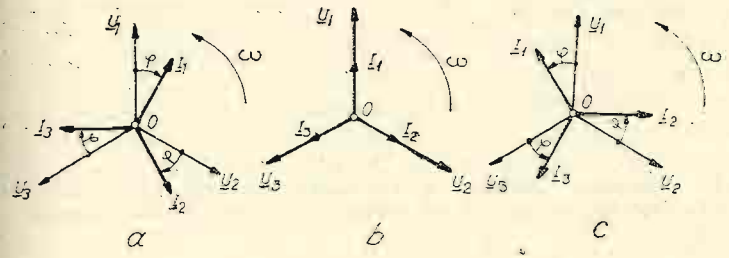


Fig. 3.2. Defazajul curenților față de tensiuni în funcție de caracterul încărcării:
a — inductivă, $\varphi > 0$, $(0 < \cos\varphi < 1)$:
b — ohmică (sarcină compensată), $\varphi = 0$, $(\cos\varphi = 1)$:
c — capacitivă (sarcină supracompensată), $(-1 < \cos\varphi < 0)$.

Dacă sarcina sistemului electric este rezistivă (pur ohmic sau compensat) nu are loc defazare între tensiuni și curenți; în diagramă această stare este reprezentată prin suprapunerea fazorilor de curenți cu fazorii de tensiune (fig. 3.2 *b*). La sarcină inductivă curenții sînt defazați în urma tensiunilor cu unghiurile de defazaj φ_1, φ_2 și φ_3, (fig. 3.2 *a*), iar la sarcina capacitivă sau supracompensată defazajul are loc înaintea tensiunilor (fig. 3.2, *c*).

Diagrama celor două sisteme de fazori ($\underline{U}_1$, $\underline{U}_2$, $\underline{U}_3$) și ($\underline{I}_1$, $\underline{I}_2$, $\underline{I}_3$) constituie o imagine intuitivă a mărimilor electrice și a stării lor relative. Reprezentarea vectorială oferă în plus efectuarea operațiilor de compunere, descompunere a mărimilor prin metode grafice simple, bazate pe regula paralelogramului. În acest sens, spre exemplifi-

care, în figura 3.3 se arată modul simplu de obținere a tensiunilor de linie, dacă avem la dispoziție cele trei tensiuni de fază.

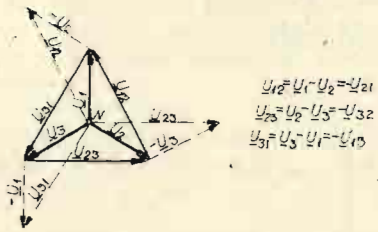


Fig. 3.3. Reprezentarea vectorială a tensiunilor de linie.

3.1.1. Diagrama fazorială a mărimilor electrice care acționează în contorul trifazat cu trei sisteme active, la conectare corectă

Precum s-a menționat în subcap. 1.1., în rețele trifazate cu conductor de nul, pentru măsurarea energiei electrice se utilizează contoare de inducție cu trei sisteme active. Contorul cu trei sisteme active măsoară și înregistrează energia electrică totală de pe toate cele trei faze. Fiecare sistem măsoară independent puterea din cîte o fază a instalației, dar fiecare sistem activ imprimă cuplu mecanic aceluiași echipaj rotitor (discului sau discurilor de aluminiu de pe axul lor comun). În acest mod cuplul rotitor rezultant constituie suma cuplurilor, proporționale la rîndul lor cu puterea electrică din faze.

Echipajul mobil, pus în mișcare de rotație de cuplul total, transmiste această mișcare mecanismului de integrare care, la rîndul său, înregistrează și afișează energia electrică consumată în timp.

Energia electrică activă E_A măsurată de contor, în cazul unei puteri trifazate constante P^3, se știe că se poate exprima cu formula (3.1), ea fiind egală cu produsul dintre puterea P și timpul t.

$$E_A = P^{(3)}\, t. \tag{3.1}$$

În cazul general, în funcție de tensiuni și curenți, puterea trifazată are expresia analitică conform relației (3.2).

$$P^{(3)} = P_1 + P_2 + P_3 = U_1 I_1 \cos\varphi_1 + U_2 I_2 \cos\varphi_2 + \\ + U_3 I_3 \cos\varphi_3, \tag{3.2}$$

sau

$$P^{(3)} = \sum_{i=1}^{3} U_i I_{iA} = U_1 I_{1A} + U_2 I_{2A} + U_3 I_{3A} \tag{3.3}$$

În relația (3.3) se poate observa că s-a notat cu I_{iA} proiecția curentului I_i pe direcția tensiunii U_i. Această proiecție reprezintă componenta activă (wattată) a curentului absorbit dintr-o fază oarecare i. Semnificația grafică a expresiilor din relațiile (3.2 și 3.3) se poate constata și înțelege cu ajutorul diagramei fazoriale din figura 3.4.

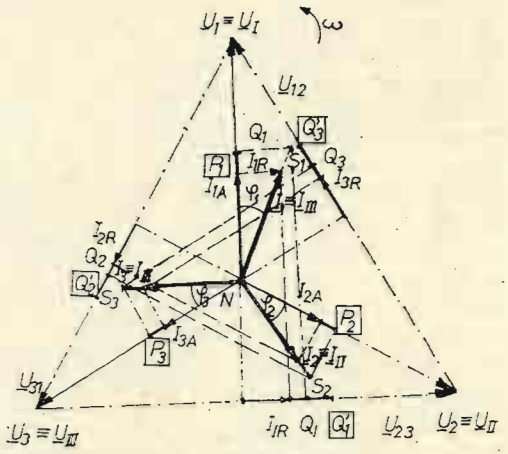


Fig. 3.4. Reprezentarea grafică a puterilor active și reactive măsurate de echipajele wattmetrice ale contoarelor trifazate cu trei sisteme de măsură.

$$(S_1 = U_1 \cdot I_1);\ \begin{cases} P_1 = U_1 \cdot I_{1A} = U_1 I_1 \cos\varphi_1 \\ Q_1 = U_{23} I_{1R} = U_{23} I_1 \sin\varphi_1 \end{cases}$$

$$(S_2 = U_2 \cdot I_2);\ \begin{cases} P_2 = U_2 \cdot I_{2A} = U_2 I_2 \cos\varphi_2 \\ Q_2 = U_{31} I_{2R} = U_{31} I_2 \sin\varphi_2 \end{cases}$$

$$(S_3 = U_3 \cdot I_3);\ \begin{cases} P_3 = U_3 I_{3A} = U_3 I_3 \cos\varphi_3 \\ Q_3 = U_{12} I_{3R} = U_{12} I_3 \sin\varphi_3 \end{cases}$$

Puterile active de fază ce acționează în contorul activ, în diagramă, sînt reprezentate prin segmentele care de fapt sînt proiecțiile pe direcția tensiunilor de fază ale puterilor aparente de fază $S_i = U_i I_i$.

Urmărind expresiile termenilor relației (3.2) și corespondențele lor grafice din diagramă se poate observa obligativitatea aplicării tensiunii și curentului, într-un sistem activ de măsură al aparatului, luate din aceeași fază. Reiese, de asemenea, obligativitatea respectării polarității curenților și anume, dacă se schimbă între ele legăturile de la borna de intrare și ieșire a bobinei de curent a contorului, fazorul de curent în diagramă ia o poziție rotită cu 180°. Respectiv, dacă această inversare are loc în sistemul activ I al contorului, în relația (3.2) primul termen ar avea expresia $U_1(-I_1)\cos\varphi_1$. Evident, schimbarea sensului proiecției curentului I_1 pe direcția tensiunii schimbă și sensul de acționare al cuplului corespunzător. Acest cuplu în loc să se însumeze cu celelalte cupluri de faze, se va opune acestora, deci contorul va înregistra numai diferența: consumul de pe fazele *2* și *3* minus consumul de pe faza *1*. Deci efectul erorii de conexiune, exemplificat mai sus, va fi o înregistrare din care nu numai că lipsește energia unei faze, dar și energia din celelalte două este micșorată. Notăm faptul că în cazul în care toți cei trei curenți au polaritatea inversată în cele trei sisteme active ale contorului, discul contorului se va roti în sens invers, iar mecanismul de integrare va modifica indexul prin scădere. Înregistrarea consumului în sens invers nu mai este garantată nici în limitele erorilor de funcționare interne ale contorului, deoarece reglarea și etalonarea în laboratorul de metrologie se face pentru funcționarea cu rotirea discului înainte, respectiv în sensul indicat printr-o săgeată aplicată pe carcasă de către fabricantul aparatului.

În același mod, ca și între expresiile termenilor din relația (3.2) și imaginea diagramei fazoriale dată în fig. 3.4, este obligatorie respectarea corespondenței între schema de conexiune a circuitelor de măsură și diagrama fazorială. Trebuie să sesizăm corelațiile (corespondențele) între diagrama fazorială dată în fig. 3.4 și schema de

conexiune prezentată în figura 1.4. Corespondențele acestea constituie condițiile funcționării, fără eroare de conexiune, a aparatului conectat; aceste corespondențe trebuiesc asigurate de montatorul de aparate atunci cînd conectează legăturile de tensiune și cele de curent la bornele aparatului.

Urmărind schema din fig. 1.4, paralel cu diagrama din fig. 3.4 se constată următoarele:

În sistemul activ I al aparatului, începutul bobinei de tensiune s-a racordat la faza 1-a a instalației trifazice, iar sfîrșitul ei la nulul rețelei (N). Conform diagramei fazoriale rezultă că bobinei s-a aplicat tensiunea de fază $\underline{U}_1$ (sau $\underline{U}_{1N}$) și nu $-\underline{U}_1$ (sau $\underline{U}_{N1}$).

La rîndul său, bobina de curent a aceluiași sistem activ I, din aparat, s-a conectat în circuitul secundar al transformatorului de curent de pe faza 1-a și anume, începutul ei s-a racordat cu borna de ieșire k și sfîrșitul cu borna de intrare l a transformatorului de curent. Borna k este spre sursă, iar borna l spre consumatorul de energie electrică. Din imaginea diagramei, respectiv din orientarea fazorului $\underline{I}_1$, se recunoaște că în bobina de curent menționată acționează curentul secundar din faza 1-a cu polaritatea corespunzătoare (deci nu acționează $-\underline{I}_1$ și nici alți curenți din faze străine). Bineînțeles, aceleași corespondențe se pot identifica și în cazurile sistemelor active *II* și III ale aparatului, în care acționează mărimile corespunzătoare din fazele *2* și respectiv *3*.

Corespondențele obligatorii dintre schema de conexiune și diagrama fazorială se pot exprima prescurtat și prin relații vectoriale, folosindu-ne de simbolurile consacrate; tensiunilor și curenților din rețea, se atașază ca indice numerele fazelor (*1*, *2* și *3*), respectiv tensiunilor și curenților aplicate la aparat numerele romane *I*, *II* și *III* cu care se disting sistemele active ale aparatului. Prin urmare condițiile conexiunii corecte sînt:

$$\left.\begin{aligned} \underline{U}_I &= \underline{U}_1 \\ \underline{U}_{II} &= \underline{U}_2 \\ \underline{U}_{III} &= \underline{U}_3 \end{aligned}\right\} \quad (3.4) \qquad \left.\begin{aligned} \underline{I}_I &= \underline{I}_1 \\ \underline{I}_{II} &= \underline{I}_2 \\ \underline{I}_{III} &= \underline{I}_3 \end{aligned}\right\} \quad (3.5)$$

Se precizează că, în cazul tensiunii, între vectorul prin care se reprezintă grafic și bobina de tensiune a aparatului se respectă următoarea regulă : săgeata de sens a vectorului tensiune reprezintă potențialul fazei la care se racordează începutul bobinei, iar originea (punctul de atac al vectorului) reprezintă potențialul care se aplică sfîrșitului bobinei de tensiune. În cazul tensiunii de fază, simbolizările U_1 ; U_{10} ; U_{1N}, în toate cele trei variante de scriere, au semnificația că începutului bobinei de tensiune i s-a aplicat potențialul fazei *1*, iar sfîrșitului aceleiași bobine potențialul nulului. La tensiunea dintre faze, întotdeauna se atașază simbolului U două cifre sau litere prin care se indică cele două faze între care se racordează bobina de tensiune, de exemplu U_{12} are semnificația că începutul bobinei s-a racordat la faza 1-a, iar sfîrșitul la faza a 2-a.

Privitor la contorul pentru energie reactivă, se știe că ordonarea bornelor de conectare este similară cu cea de la contorul de energie activă. Deosebirea între cele două contoare constă în legăturile interioare ale bobinelor de tensiune din aceste aparate. În exemplul din figura 1.6, se poate observa că, în contorul de energie activă bobinele de tensiune sînt legate în stea (sfîrșiturile unite sînt legate de borna de nul). Respectiv, în fiecare sistem bobina de tensiune funcționează sub tensiunea de fază și anume sub tensiunea fazei de pe care este alimentată și bobina de curent. În schimb, în contorul pentru energie reactivă bobinele de tensiune sînt legate între ele în triunghi, astfel racordate la circuitele de tensiune exterioare încît fiecare bobină funcționează sub influența unei tensiuni străine de linie, care este decalată în urmă cu 90° față de tensiunea fazei la care este conectată bobina de curent.

Constructorul contorului de energie electrică reactivă a realizat aceste legături interioare de tensiune astfel încît să fie respectată definiția energiei (puterii) reactive după relațiile cunoscute.

Energia reactivă E_R, prin definiție, se exprimă ca produsul dintre puterea reactivă trifazată $Q^{(3)}$ și timpul t, adică :

$$E_R = Q^{(3)}\, t = \frac{Q'_1 + Q'_2 + Q'_3}{\sqrt{3}}\, t. \qquad (3.6)$$

Potrivit schemei contorului de energie reactivă din fig. 1.6, bobinele de tensiune fiind conectate la tensiunile de linie, pe fiecare fază se va obține cîte un cuplu de rotire proporțional cu produsele :

$$Q'_1 = U_{23}\, I_1 \sin \varphi_1, \qquad (3.7)$$

$$Q'_2 = U_{31}\, I_2 \sin \varphi_2, \qquad (3.8)$$

$$Q'_3 = U_{12}\, I_3 \sin \varphi_3, \qquad (3.9)$$

Adică interacțiunile (produsele) nu au loc între mărimile de fază, ci între curenții de fază și respectiv tensiunile de linie străine. Se știe însă, că tensiunile de linie sînt mai mari cu $\sqrt{3}$ ori decît tensiunile de fază ; în aceste condiții cuplul rezultant la echipajul mobil al contorului va fi proporțional cu o putere reactivă de $\sqrt{3}$ ori mai mare decît puterea reactivă trifazată reală, potrivit relației (3.10) ;

$$\sqrt{3}\; Q^{(3)} = Q'_1 + Q'_2 + Q'_3, \qquad (3.10)$$

de unde puterea reactivă trifazată reală, în funcție de puterile reactive măsurate pe faze, va avea expresia

$$Q^{(3)} = \frac{Q'_1 + Q'_2 + Q'_3}{\sqrt{3}}. \qquad (3.11)$$

Deci pentru a se înregistra energia reactivă trifazată corespunzătoare valorii puterii reactive trifazate reale, prin construcția mecanismului de integrare, se soluționează micșorarea indicațiilor cu $\sqrt{3}$.

Pentru studierea problemei cu ajutorul diagramei fazoriale, este important de observat (fig. 3.3) că direcţiile proiecţiilor dewattate ale curenţilor : $I_{1R} = I_1 \sin \varphi_1$; $I_{2R} = I_2 \sin \varphi_2$ şi $I_{3R} = I_3 \sin \varphi_3$ coincid cu direcţiile tensiunilor de linie menţionate în relaţiile (3.7, 3.8 şi 3.9).

În acest loc se evidenţiază şi acest avantaj al curentului alternativ trifazat care permite artificiul de construcţie a contoarelor electrice exemplificat mai sus. Se menţionează că pot fi aplicate şi alte artificii constructive decît cel exemplificat. După cum s-a arătat, dispunerea bornelor de conectare atît la contorul de energie activă (CA 43) cît şi la contorul de energie reactivă (CR 33) este identică. În consecinţă, dacă odată s-a realizat conectarea corectă a aparatului pentru energie activă, prin realizarea în acelaşi mod a legăturilor şi la bornele contorului de energie reactivă (legarea în serie a bobinelor de curent şi în paralel a bobinelor de tensiune), în mod implicit s-a realizat conexiunea corectă şi la cel de al doilea aparat. De aici rezultă o constatare importantă şi anume : *dacă se ridică diagrama pe bază de măsurări cu wattmetru, la nivelul bornelor aparatului de măsură* (la oricare dintre contoarele de energie activă sau reactivă) *în cazul conectării corecte, se va obţine o diagramă fazorială similară cu cea din fig. 3.2, a, dacă sarcina are caracter inductiv. Dacă sarcina este ohmică sau capacitivă, se va obţine imagine conform fig. 3.2 b, respectiv fig. 3.2 c*.

Este de remarcat faptul că, la sarcina ohmică, contorul de energie reactivă nu va indica consum, iar în cazul sarcinei cu caracter capacitiv (conform schemei din fig. 1.6) acesta va funcţiona cu rotirea discului în sens invers.

3.1.2. Diagrama fazorială a mărimilor electrice care acţionează în contorul trifazat, avînd două sisteme de măsurare, la conectare corectă

În reţele trifazate cu neutrul izolat (fără conductor de nul) energia electrică se măsoară cu ajutorul contoarelor avînd două sisteme active care funcţionează pe principiul măsurării puterii trifazate prin „metoda celor două

wattmetre". Această metodă are la bază faptul că puterea trifazată se poate descompune în două componente, care se pot măsura cu cîte un wattmetru monofazat.

Energia electrică exprimată prin relaţia (3.1), adică $E_A = P^{(3)}t$, poate fi scrisă în acest caz sub forma unei relaţii în care puterea trifazată $P^{(3)}$ se exprimă prin cele două componente măsurabile cu cîte un wattmetru monofazat şi anume :

$$P^{(3)} = P_1^{(12)} + P_3^{(32)} \qquad (3.12)$$

$$\text{sau } P^{(3)} = U_{12} I_1 \cos (\widehat{\underline{U}_{12}\ \underline{I}_1}) + U_{32} I_3 \cos (\widehat{\underline{U}_{32}, \underline{I}_3}) =$$

$$= U_{12} I_1 \cdot \cos (30° + \varphi_1) + U_{32} I_3 \cos (30° - \varphi_3) \qquad (3.13)$$

Din modul de scriere a relaţiei (3.13) se poate observa că tensiunea de fază U_2 a fost aleasă drept fază de referinţă, fază din care curentul (I_2) nu se utilizează pentru măsurarea puterii (energiei) trifazate ; Acest curent I_2 nu apare nici în relaţia (3.13), în schimb curenţii I_1 şi I_3 sînt utilizaţi ca şi în relaţia componentelor. Din relaţia (3.13) rezultă că aceşti doi curenţi de fază interacţionează în aparatul de măsură împreună cu tensiunile de linie U_{12} şi respectiv U_{32}, şi nu cu tensiunile de fază.

Descompunerea puterii trifazate în două componente, conform demonstraţiilor cunoscute din electrotehnică, este posibilă datorită îndeplinirii condiţiei $\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 0$, ceea ce se realizează prin natura reţelei electrice (neutrul izolat), chiar dacă sarcina este neechilibrată.

Lipsa termenului corespunzător curentului I_2 din expresia puterii trifazate (3.13) a permis simplificarea construcţiei contorului trifazat (suprimarea sistemului activ *II*) şi explică nefolosirea transformatorului de curent, de pe faza respectivă a instalaţiei, la măsură.

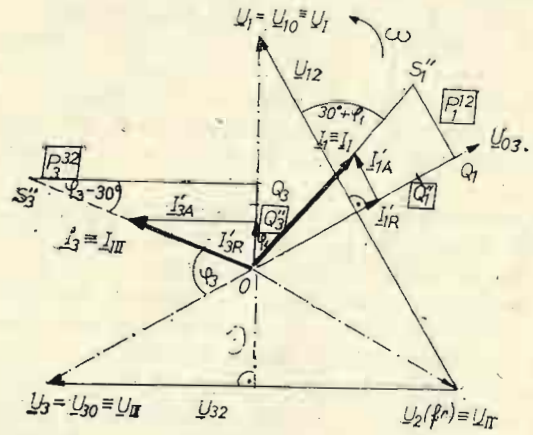
Utilizarea contoarelor trifazate cu două sisteme active (CA-32 şi CR-32) precum şi a altor aparate care funcţionează pe principiul măsurării puterii prin metoda celor două wattmetre, se practică în sistemul electroenergetic, atît în reţelele de medie tensiune avînd neutrul izolat, cît şi în cele de transport de înaltă tensiune cu neutrul legat la pămînt.

Tensiunile secundare U_{12} și U_{32}, conform aceleiași relații (3.13) se pot obține, spre exemplu, prin două transformatoare de tensiune bifazate legate în schema V (fig. 2.1, *a*). Bornele primare unite ale acestor două transformatoare de tensiune (borna de mijloc a grupului) se racordează la faza *2* (faza cu transformator de curent neutilizat pentru măsură sau chiar fără acesta), ea fiind de obicei faza de mijloc a instalației primare. La rîndul lor, bornele corespunzătoare ale înfășurărilor secundare, de asemenea unite, legate și la pămînt, se racordează la sfîrșiturile bobinelor de tensiune din aparatul de măsură (bornele *4—5* cuplate ale contorului). Bornele primare extreme ale grupului de transformatoare de tensiune se racordează, cîte una, la fazele instalației primare de pe care transformatoarele de curent sînt utilizate pentru măsură, iar cele ale înfășurărilor secundare corespunzătoare, se conectează la începuturile bobinelor de tensiune din aparat (la bornele *2* și *7* ale contorului, v. fig. 1.5).

După verificarea succesiunii fazelor la bornele aparatului de măsură, dacă aceasta este inversată, corectarea, pentru asigurarea secvenței directe, se realizează prin schimbarea între ele numai a legăturilor de la începuturile bobinelor de tensiune, astfel se va menține corespondența obligatorie între faza *2* și sfîrșiturile unite ale acestor bobine din aparatul verificat. Aici, menționăm că, prin indicarea succesiunii fazelor în ordinea *1*, *2*, *3* trebuie înțeleasă oricare din permutările circulare ale fazelor corespunzătoare secvenței directe ($R—S—T$, $S—T—R$ și $T—R—S$). Prin această convenție, relația (3.13) capătă caracter general, iar indicele *2* corespunde fazei al cărui curent nu se folosește la măsurarea puterii și energiei, indiferent de poziția ei fizică în circuitul primar. Faza primară a cărui curent secundar nu se utilizează în aparatul de măsură trifazat, poate fi oricare dintre cele trei faze R, S, și T, dar în cazul utilizării transformatoarelor de tensiune în schemă V, la această fază trebuie să fie racordată borna primară comună (de mijloc) a acestui grup de transformatoare. .

În acest caz special, respectînd modul de racordare arătat a grupului de transformatoare de tensiune în V și asigurînd în același timp și secvența directă a tensiunilor la bornele aparatului de măsură, rezultă concluzia că modul de legare corectă a bornelor de tensiune este unic (varianta *1* din fig. 2.2.), iar faza *2* este cea cu transformator de curent neutilizat sau fără acest transformator, față de care se aleg tensiunile U_{12} și U_{32}, pentru a fi aplicate bobinelor de tensiune, la conectarea aparatului trifazat cu două sisteme active.

Condițiile de conectare corectă, expuse mai sus, pot fi verificate, urmărind corelațiile dintre schema de conexiune (fig. 1.5), diagrama fazorială din figura 3.5 și respectiv expresia matematică dată prin relația (3.13).



$$(S_1'' = U_{12} \times I_1);\quad \begin{cases} P_1'^{12} = \underline{U_{12} \times I_{1A}'} = U_{12} \times I_1 \cos(30° + \varphi_1) \\ Q_1'' = \underline{U_{03} \times I_{1R}'} = U_{03} \times I_1 \sin(30° + \varphi_1) \end{cases}$$

$$(S_3'' = U_{32} \times I_3);\quad \begin{cases} P_3^{32} = \underline{U_{32} \times I_{3A}'} = U_{32} \times I_3 \cos(\varphi_3 - 30°) \\ Q_3'' = \underline{U_{10} \times I_{3R}'} = U_{10} \times I_3 \sin(\varphi_3 - 30°) \end{cases}$$

Fig. 3.5. Reprezentarea grafică a puterilor active și reactive care acționează în echipajele wattmetrice ale contoarelor trifazate cu două sisteme de măsură.

Să observăm semnificația termenilor din relația (3.13) și anume :

$$P_1^{(12)} = U_{12} I'_{1A} \tag{3.14}$$

$$P_3^{(32)} = U_{32} I'_{3A} \tag{3.15}$$

$P_1^{(12)}$ este puterea măsurată de primul (I) sistem activ, iar $P_3^{(32)}$ puterea măsurată de cel de al doilea sistem activ, (notată cu III), al aparatului de măsură trifazat avînd două sisteme active iar curenții I'_{1A} și I'_{3A} sînt proiecțiile curenților $\underline{I}_1$ respectiv $\underline{I}_3$ pe direcția tensiunilor de linie $\underline{U}_{12}$ și respectiv $\underline{U}_{32}$, după cum se pot identifica și pe diagrama din fig. 35.

Satisfacerea corelațiilor (3.13), echivalează cu respectarea condițiilor teoretice ale funcționării corecte a aparatului de măsură. Îndeplinirea acestor condiții poate fi verificată în mod indirect cu ajutorul diagramei fazoriale ridicate la bornele aparatului. Practic, condițiile funcționării corecte se îndeplinesc dacă montatorul de aparate realizează schema de conexiune corespunzătoare (fig. 15).

Se urmărește în paralel, schema din figura 1.5 și diagrama din figura 3.5; se poate observa că legătura de tensiune de la faza *1*, prin transformatorul de tensiune, s-a racordat la borna de început a bobinei de tensiune din sistemul activ *I*. Faza *2* de tensiune s-a racordat la borna de tensiune din mijlocul șirului de borne (bornele cuplate *4—5* din schemă) al aparatului, iar faza *3* s-a racordat la borna de început a bobinei de tensiune din sistemul activ *III*. Prin racordarea în această ordine U_1, U_2, U_3, de la stînga spre dreapta șirului de borne, s-a asigurat secvența directă a fazelor la bornele aparatului de măsură. Această secvență se verfică cu ajutorul indicatorului de succesiune a fazelor din dotarea montatorilor de aparate, discul acestui indicator trebuie să se rotească în sensul indicat, de obicei printr-o săgeată.

În interiorul aparatului, se observă că legăturile unite ale sfîrșiturilor bobinelor de tensiune se închid pe borna de tensiune de mijloc (*4—5*) la care, cum s-a

arătat mai sus, s-a racordat faza *2* de tensiune. Din modul de scriere și prezentare a fazorului de tensiune $\underline{U}_{12}$ din fig. 3.5, de asemenea se poate observa că începutului bobinei de tensiune din sistemul *I* i s-a aplicat potențialul fazei 1, iar sfîrșitului potențialul fazei *2*, respectiv bobina de tensiune se află sub tensiunea de linie U_{12}. Bobina de tensiune din sistemul activ *III* se află sub tensiunea U_{32}, ceea ce în diagramă se reprezintă prin fazorul $\underline{U}_{32}$ avînd orientarea (sensul) spre faza *3* (începutul bobinei) și originea la faza *2* (sfîrșitul bobinei de tensiune).

La rîndul lor, curenții I_1 și I_3 cu polaritatea lor corespunzătoare (de la sursă intră la începutul bobinei de curent și se închide spre receptor), alimentează sistemul activ *I*, respectiv sistemul *III* al aparatului de măsură, conform schemei (fig. 1.5), ceea ce în diagrama fazorială corespunde modului de reprezentare a fazorilor de curenți $\underline{I}_1$ și $\underline{I}_2$.

Pe scurt, condițiile realizării schemei de conexiune corectă se pot exprima prin corelațiile :

$$\left.\begin{aligned} \underline{U}_I &= \underline{U}_1 \\ \underline{U}_{II} &= \underline{U}_2 \\ \underline{U}_{III} &= \underline{U}_3 \end{aligned}\right\} \tag{3.16}$$

$$\left.\begin{aligned} \underline{I}_I &= \underline{I}_1 \\ \underline{I}_{III} &= \underline{I}_3 \end{aligned}\right\} \tag{3.17}$$

În relațiile (3.16) și (3.17) s-au notat cu :

$\underline{U}_I$ — fazorul de tensiune aplicată la sistemul activ *I* ;

$\underline{I}_{II}$ — fazorul de tensiune aplicată la borna comună celor două bobine de tensiune din aparat, (locul fazei de referință la bornele unite *4 — 5* conform schemei din fig.1. 5) ;

$\underline{U}_{III}$ — fazorul de tensiune aplicată bobinei din sistemul activ *III* al aparatului de măsură ;

$\underline{U}_1$, $\underline{U}_2$ și $\underline{U}_3$ sînt tensiunile de fază, iar $\underline{I}_1$ și $\underline{I}_3$ sînt fazorii curenților din fazele *1* și respectiv *3* ale rețelei de alimentare.

Din figura 1.7, în care este reprezentată schema principială de conexiune a grupului de contoare pentru energie activă și reactivă, se poate observa că între modul

de conectare a legăturilor exterioare nu există nici o deosebire la cele două contoare. Deosebirea între contorul pentru energia activă și cel pentru energia reactivă constă în legăturile interioare ale bobinelor de tensiune. Dacă în contorul pentru energie activă cele două bobine de tensiune sînt sub tensiunile de linie $\underline{U}_{12}$ și $\underline{U}_{32}$, în contorul pentru energie reactivă, constructiv s-a rezolvat legăturile de tensiune astfel ca bobinele de tensiune din acest aparat să fie puse sub tensiunile decalate în urmă cu 90° față de cele din contorul de energie activă. După cum se poate constata în diagrama fazorială (fig. 3.5), aceste tensiuni sînt: pentru sistemul *I*, tensiunea de fază $\underline{U}_{30} = \underline{U}_{03}$, care într-adevăr este decalată cu 90° în urma tensiunii U_{12}, iar pentru sistemul *III* al contorului de energie reactivă tensiunea de fază $\underline{U}_{10}$, care la rîndul său este decalată cu 90° față de tensiunea $\underline{U}_{32}$.

Aceste tensiuni pot fi identificate și prin urmărirea schemei legăturilor interioare ale contorului de energie reactivă (v. fig. 1.7).

Se poate constata că la începutul bobinei de tensiune din sistemul activ *III* este racordată tensiunea U_1, iar sfîrșitul aceleiași bobine se închide la punctul nul, deci această bobină funcționează sub tensiunea de fază $\underline{U}_{10}$. Bobina de tensiune din sistemul activ *I* funcționează sub tensiunea $\underline{U}_{03}$, ceea ce rezultă din faptul că potențialul fazei U_3 este aplicat sfîrșitului bobinei, iar începutul acesteia se află la potențialul punctului nul. (Punctul nul, în acest caz exemplificativ, este creat în interiorul contorului prin legarea în stea potrivit schemei din fig. 1.7 a bobinelor de tensiune aparținătoare constitutiv celor două sisteme active și a unei a treia bobine de aceeași impedanță ca și primele două, introdusă pe faza de mijloc pentru obținerea tensiunilor de fază).

Contorul de energie reactivă exemplificat este astfel conceput încît să funcționeze conform definiției energiei reactive, definiție care pentru puterea reactivă constantă poate fi exprimată cu ajutorul relației (3.18):

$$E_R = Q^{(3)}t = \sqrt{3}\,(Q_1'' + Q_3'')\,t. \qquad (3.18)$$

Bobinele de tensiune, cu legăturile interioare descrise mai sus, fiind sub tensiunile de fază, cuplurile dezvoltate de sistemele active ale contorului vor fi proporționale cu mărimile lor și nu cu cele ale tensiunilor dintre faze, astfel puterea reactivă măsurată va fi mai mică cu $\sqrt{3}$, precum se arată acest fapt prin relația (3.19):

$$\frac{Q^{(3)}}{\sqrt{3}} = U_{03}I_1\sin(30° + \varphi_1) + U_{10}I_3\sin(\varphi_3 - 30°). \qquad (3.19)$$

Pentru indicarea energiei reactive totale, mecanismul de integrare al contorului se construiește astfel încît să multiplice mărimea măsurată cu $\sqrt{3}$.

În diagrama din fig. 3.5 se poate observa că proiecțiile curenților $I'_{1R} = I_1 \sin(30° + \varphi_1)$ și $I'_{3R} = \sin(\varphi_3 - 30°)$ coincid cu direcțiile tensiunilor de fază $\underline{U}_{03}$, respectiv $\underline{U}_{10}$, fapt ce permite constructorului de contoare găsirea tensiunilor decalate în urmă cu 90° (față de direcțiile tensiunilor de linie aplicate bobinelor de tensiune ale contorului de energie activă) și astfel a soluției la îndemînă pentru construirea contorului de energie reactivă.

Notăm că soluția constructivă a contorului de energie reactivă, exemplificată, aici pentru conectarea sa corectă, este utilizabilă și în cazul sarcinilor dezechilibrate.

La rețele trifazate echilibrate se pot utiliza și soluții constructive cu aplicarea tensiunilor de linie străine.

3.2. Ridicarea diagramei fazoriale pe baza măsurărilor efectuate în instalația aflată în funcțiune

3.2-1. Principiul construcției grafice

Cu ajutorul unor date obținute prin măsurări cu un wattmetru monofazat la bornele aparatului de verificat se construiește grafic diagrama fazorială. Imaginea diagramei ridicate, în cazul montajului corect va coincide cu diagrama fazorială teoretică prezentată în fig. 3.2 (variantele *a*, *b*, și *c*), de la subcap. 3.1. Orice abatere

față de diagrama caracteristică montajului corect se poate atribui cu certitudine unei greșeli de montare. După cum vom vedea mai jos, diagramele fazoriale deosebite față de cea caracteristică montajului corect, la rîndul lor, sînt de asemenea, caracteristice variantelor posibile de conexiuni eronate. Cu alte cuvinte, prin analiza imaginii diagramei obținute se poate constata dacă conexiunea este corectă sau eronată precum și natura (varianta) conexiunii eronate. Corelația dintre schemele de conexiune ale circuitelor de măsură și diagramele fazoriale caracteristice stă la baza metodelor de verificare indirectă a conectării aparatelor.

Pentru reprezentarea grafică se folosesc, drept sistem de coordonate, axele fazorilor tensiunilor de fază în cazul rețelelor cu nul accesibil, unde se utilizează aparate cu trei sisteme active, respectiv axele fazorilor tensiunilor de linie în cazul rețelelor cu nul neaccesibil, respectiv cînd sînt folosite aparate trifazate avînd două sisteme active. Ordinea de succesiune a axelor de referință și sensul decalajului „în urmă" corespunde secvenței tensiunilor la bornele aparatului.

Diviziunile citite de pe scala wattmetrului se transpun pe axele de referință prin cîte un segment de dreaptă de mărimea rezultată din numărul de diviziune indicate, la o scară aleasă, potrivită pentru construcția grafică, (de exemplu 1 mm = 5 diviziuni ale wattmetrului).

Ridicînd cîte o linie ajutătoare perpendiculară pe axele de refeință din extremitățile segmenților de dreaptă respectivi, la intersecția acestor linii ajutătoare se va găsi un punct, care dacă se unește cu originea sistemului de coordonate, se obține direcția și sensul fazorului de curent. Sensul se va nota printr-o săgeată orientală de la origine spre punctul de intersecție.

Modulul fazorului definit prin segmentul dintre origine și punctul obținut la intersecția perpendicularelor ajutătoare corespunde de fapt mărimii unei puteri aparente fictive S_i^{jk} corespunzătoare produsului $U_{jk}I_i$ (mărimi cu care s-a alimentat wattmetrul). Modulul fazorului de curent se poate determina (ținînd seama de scara geometrică adoptată) cu ajutorul relației $I_i = S_i^{jk}/$

U_{jk}, în care $i = 1, 2, 3$ și $jk = 10,20, 30$ sau 12, 23, 31, dar întrucît din punctul de vedere al metodei de verificare tratate în prezenta lucrare are importanță numai poziția geometrică a fazorului de curent față de tensiunea de fază corespunzătoare, deci direcția și defazajul φ, fazorul obținut grafic prin procedeul descris mai sus, se consideră în mod convențional, ca fiind chiar fazorul curentului căutat. Pentru determinarea fazorului de curent, bobina de curent a wattmetrului se înseriază în circuitul de curent al sistemului activ al aparatului verificat, apoi bobinei de tensiune al wattmetrului se aplică pe rînd cele trei tesiuni alese drept sistem de referință și se citesc indicațiile wattmetrului corespunzătoare celor trei tensiuni aplicate.

Punctul de intersecție, care indică poziția vîrfului fazorului de curent, se poate obține cu utilizarea numai a două din cele trei indicații ale wattmetrului. Instalația trifazată, respectiv sistemul de referință cu trei axe utilizat oferindu-ne și cea de a treia indicație (proiecție), de aceasta ne servim la controlul determinării corecte a primelor două. Cele trei diviziuni citite de pe scala wattmetrului pot avea valori pozitive sau negative (+ sau −), după cum acul indicator bate spre dreapta sau stînga față de reperul inițial (zero). Controlul corectitudinii citirilor se poate face imediat, știind că suma algebrică a celor trei indicații trebuie să fie egală cu zero.

La construcția grafică (ridicarea perpendicularelor pe cele trei axe de referință) în vederea determinării poziției extremității fazorului de curent, de asemenea, ne putem controla corectitudinea citirilor diviziunilor și a preciziei construcției grafice. În acest sens avem în vedere că teoretic toate cele trei perpendiculare ajutătoare trebuie să se intersecteze în același punct. Dacă datorită citirilor inexacte (aprecierea subdiviziunilor la vedere) sau datorită construcției insuficient de precise la intersecția celor trei perpendiculare, în loc de un punct se obține un mic triunghi, punctul ce determină poziția fazorului de curent poate fi localizat în centrul suprafeței acestui triunghi, operațiune prin care eroarea de citire (sau de construcție) practic se corectează. Cu cît este mai mică supra-

fața triunghiului (tinzînd să se confunde într-un punct) cu atît precizia de lucru a fost mai mare.

3.2.2 Ridicarea diagramei fazoriale pentru aparatul cu trei sisteme de măsurare

În vederea efectuării măsurărilor, se conectează, pe rînd, un wattmetru (monofazat) în circuitul de curent al fiecărui sistem activ al aparatului de verificat, se aplică cele trei tensiuni de fază bobinei de tensiune a wattmetrului, citîndu-se indicațiile corespunzătoare celor trei tensiuni pentru fiecare sistem de măsurare în parte.

La montarea wattmetrului se va respecta marcajul bornelor sale, respectîndu-se polaritatea bobinelor de curent și de tensiune și anume :

Borna de început a bobinei de curent, însemnată cu asterisc, se leagă la conductorul care sosește la prima bornă de curent a aparatului de verificat, venind de la secundarul transformatorului de curent. Borna de sfîrșit a aceleiași bobine de curent a wattmetrului, se racordează la prima bornă de curent a aparatului din care în prealabil s-a scos conductorul de sosire de la transformatorul de măsură.

În cazul cînd wattmetrul se înseriază în brațul de întoarcere al circuitului de curent, borna de început a bobinei de curent a wattmetrului, marcată cu asterisc, se racordează la borna de ieșire a aparatului verificat, iar borna de sfîrșit se leagă la conductorul de închidere spre transformatorul de curent. De notat că circuitul de curent fiind în funcțiune, nu se admite să fie deschis, motiv pentru care înainte de a proceda la eliberarea legăturii din borna aparatului conectat în vederea înserierii wattmetrului, circuitul de curent se șuntează spre transformatorul de măsură ;

Pentru respectarea polarității bobinei de tensiune a wattmetrului, borna ei de sfîrșit se pune în contact cu nulul (ultima bornă a aparatului conectat), iar borna de început, marcat cu asterisc sau cu una din literele consacrate (R, sau T), se pune în contact, pe rînd, cu cele trei

borne de tensiune ale aparatului conectat în ordinea sistemelor active *I.*(*2*) ; *II.*(*5*) și *III.*(8) ca în figura 3.6.

Bobina de curent a wattmetrului fiind înseriată în circuitul de curent, la realizarea contactului la bornele de

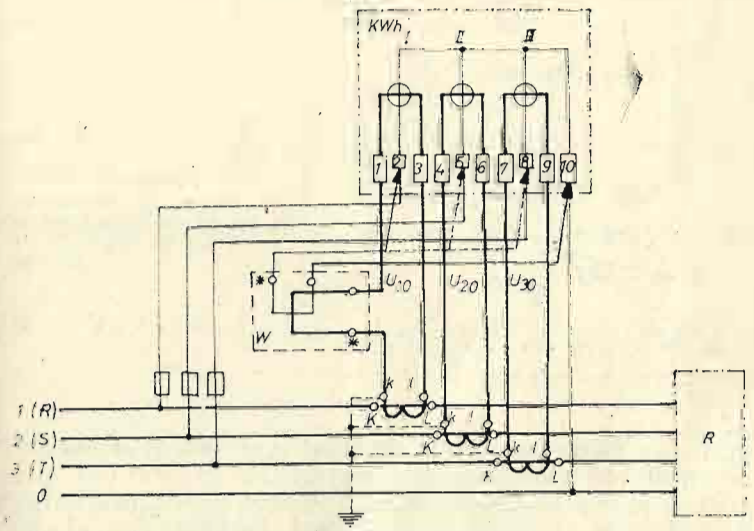


Fig. 3.6. Schema de legare a wattmetrului pentru ridicarea diagramei fazoriale la contorul trifazat cu trei sisteme de măsură.

tensiune cu legătura de început a bobinei de tensiuue, wattmetrul va indica cîte un număr de diviziuni care se citesc și se reține cu semnele rezultate astfel : dacă acul indicator a deviat de la zero spre dreapta se atribuie semnul pozitiv (+), iar spre stînga semnul negativ (—). Pentru cazul exemplificat prin figura 3.6, cele trei proiecții indicate prin diviziunile wattmetrului pentru fazorul curent $\underline{I}_I$ (pentru sistemul activ *I*) au rezultat astfel : $+ p_I^{(1)}$; $- p_I^{(2)}$ și $- p_I^{(3)}$. După mutarea bobinei de curenr a wattmetrului în circuitele de curent ale sistemelor active *II* și respectiv *III* ale aparatului conectat, au rezultat proiecțiile curentului $\underline{I}_{II}$: $- p_{II}^{(1)}$; $+ p_{II}^{(2)}$; $-p_{II}^{(3)}$, respectiv pentru curentul I_{III} din sistemul *III* : $- p_{III}^{(1)}$; $- p_{III}^{(2)}$ și $+ p_{III}^{(3)}$,

Cu ajutorul proiecțiilor (coordonatelor) rezultate s-a construit grafic diagrama fazorială a celor trei curenți ce acționează în sistemele active ale aparatului conectat a cărei conexiune s-a verificat. Tehnica construcției grafice reiese din figura 3.7. În general, după construirea

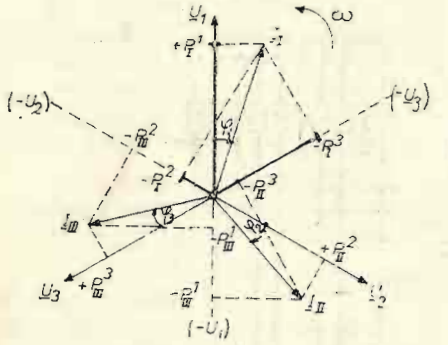


Fig. 3.7. Construirea celor trei fazori de curenți prin proiecțiile lor pe direcțiile tensiunilor de fază.

grafică a celor trei fazori de curenți se obține o imagine de ansamblu a diagramei, caracteristică cazului dat, prin analiza căreia se poate constata modul corect sau eronat de conectare al aparatului verificat. În acest caz, al aparatului de măsură cu trei sisteme active, drept sistem de referință s-au utilizat axele definite prin direcțiile fazorilor de tensiune $\underline{U}_1$, $\underline{U}_2$ și $\underline{U}_3$. Dacă fazorii de tensiune de fază, ce constituie sistemul de referință, au succesiunea directă asigurată la bornele aparatului conectat încă dinaintea efectuării măsurărilor cu wattmetru, confirmată prin controlarea prealabilă cu ajutorul indicatorului de succesiune a fazelor și respectiv cu ajutorul voltmetrului s-a constatat simetria tensiunilor, atunci condiția din relația (3.4) este îndeplinită. Obiectul verificării cu ajutorul diagramei fazoriale se restrînge asupra circuitelor de curent, respectiv la verificarea dacă este îndeplinită condiția exprimată prin relația (3.5).

În cele ce urmează, se prezintă expresiile matematice ale proiecțiilor obținute cu ajutorul wattmetrului. Urmărind figura 3.7, în care tensiunile de fază sînt ordonate

conform secvenței directe, proiecțiile curentului $\underline{I}_1$, pe cele trei tensiuni, rezultă după cum urmează :

$$\left.\begin{aligned} p_I^{(1)} &= I_I\, U_1 \cos(\widehat{\underline{I}_I, \underline{U}_1}) = +\, I_I\, U_1 \cos\varphi_1 \\ p_I^{(2)} &= I_I\, U_2 \cos(\widehat{\underline{I}_I, \underline{U}_2}), = I_I U_2 \cos\,(120^\circ - \varphi_1) = \\ &= -\, I_I\, U_2 \cos\,(60^\circ + \varphi_1) \\ p_I^{(3)} &= I_I\, U_3 \cos\,(\widehat{\underline{I}_I, \underline{U}_3}) = I_I\, U_3 \cos\,(240^\circ - \varphi_1) = \\ &= I_I\, U_3 \cos\,(60^\circ - \varphi_1) \end{aligned}\right\} \quad (3.20)$$

Proiecțiile curentului $\underline{I}_{II}$, pe cele trei tensiuni, rezultă astfel :

$$\left.\begin{aligned} p_{II}^{(1)} &= I_{II}\, U_1 \cos(\widehat{\underline{I}_{II}, \underline{U}_1}) = I_{II}\, U_1 \cos(120^\circ + \varphi_2) = \\ &= -\, I_{II}\, U_1 \cos\,(60^\circ - \varphi_2) \\ p_I^{(2)} &= I_{II}\, U_2 \cos(\widehat{\underline{I}_{II}, \underline{U}_2}) = +\, I_{II}\, U_2 \cos\varphi_2 \\ p_{II}^{(3)} &= I_{II}\, U_3 \cos(\widehat{\underline{I}_{II}, \underline{U}_3}) = I_{II}\, U_3 \cos(120^\circ - \varphi_2) = \\ &= -\, I_{II}\, U_3 \cos\,(60^\circ + \varphi_2) \end{aligned}\right\} \quad (3.21)$$

iar proiecțiile curentului $\underline{I}_{III}$, pe cele trei tensiuni, rezultă în mod similar ca în cazul primilor doi curenți :

$$\left.\begin{aligned} p_{III}^{(1)} &= I_{III} U_1 \cos(\widehat{\underline{I}_{III}, \underline{U}_1}) = I_{III} U_1 \cos\,(120^\circ - \varphi_3) = \\ &= -\, I_{III}\, U_1 \cos\,(60^\circ + \varphi_3 \\ p_{III}^{(2)} &= I_{III}\, U_2 \cos(\widehat{\underline{I}_{II}, \underline{U}_2}) = I_{II}\, U_2 \cos\,(120^\circ + \varphi_3) = \\ &= -\, I_{III}\, U_2 \cos\,(60^\circ - \varphi_3) \\ p_{III}^{(3)} &= I_{III}\, U_3 \cos\,(\widehat{\underline{I}_{III}\, \underline{U}_3}) = +\, I_{III}\, U_3 \cos\,\varphi_3 \end{aligned}\right\} \quad (3.22)$$

Semnul coordonatelor (proiecțiilor) exprimate prin relațiile (3.20, 3.21 și 3.22), în general, depinde de valoarea defazajului φ: în cazul montajului corect, indiferent de caracterul sarcinei coordonatele $p_I^{(1)} \equiv p_1^{(1)}$; $p_{II}^{(2)} \equiv p_2^{(2)}$ și $p_{III}^{(3)} \equiv p_3^{(3)}$, reprezintă puterile active efectiv absorbite pe faze și vor fi în totdeauna pozitive ;

Coordonatele $p_I^{(2)}$, $p_{II}^{(3)}$ și $p_{III}^{(1)}$ au semne negative la valoarea defazajului cuprinsă în domeniul $-90° \ldots +30°$ și apoi pozitive în domeniul $+30° \ldots +90°$; iar coordonatele $p_I^{(3)}$, $p_{II}^{(1)}$ și $p_{III}^{(2)}$ au valori pozitive în domeniul $\varphi = -90° \ldots -30°$ și apoi pozitive în domeniul $-30° \ldots +90°$.

3.2.3. Ridicarea diagramei fazoriale pentru aparatul trifazat cu două sisteme de măsurare

În vederea efectuării măsurărilor, se conectează pe rînd wattmetrul (monofazat) în circuitele celor două sisteme active ale aparatului ce se verifică, conform schemei de montaj exemplificată pentru primul sistem activ al contorului cu două echipaje de măsurare în figura 3.8.

Regulile expuse la § 3.2.2, în principiu se vor respecta și în acest caz ; atît cele privitoare la polaritatea bobinelor wattmetrului cît și cele referitoare la menținerea în stare închisă a circuitului de curent aflat în funcțiune sub sarcină. Pentru respectarea polarității bobinei de tensiune a wattmetrului, aici fiind utilizate tensiuni de linie, legătura de început a bobinei de tensiune se pune în contact cu prima bornă de tensiune I (2), iar sfîrșitul la borna de mijloc (4—5) a apartului verificat, pentru măsurarea proiecției curentului $\underline{I}_I$ pe tensiunea de linie U_{12}. Dacă se asigură secvența directă a tensiunilor U_1 ; U_2 ; U_3 la bornele $I(2)$; $(4-5)$; $III(7)$ ale aparatului verificat, în mod implicit se asigură și secvența tensiunilor de linie în ordinea următoare U_{12}, U_{23} și U_{31}. Prin urmare, pentru citirea celor trei proiecții ale fazorului de curent cu ajutorul wattmetrului, bobina de tensiune se pune sub tensiunile $U_{12} \equiv U_{[2-4]}$, $U_{23} \equiv U_{[4-7]}$ și apoi $U_{31} \equiv U_{[7-2]}$. Indicele încadrate în paranteza pătrată „[ ]" reprezintă numerele bornelor de tensiune ale aparatului

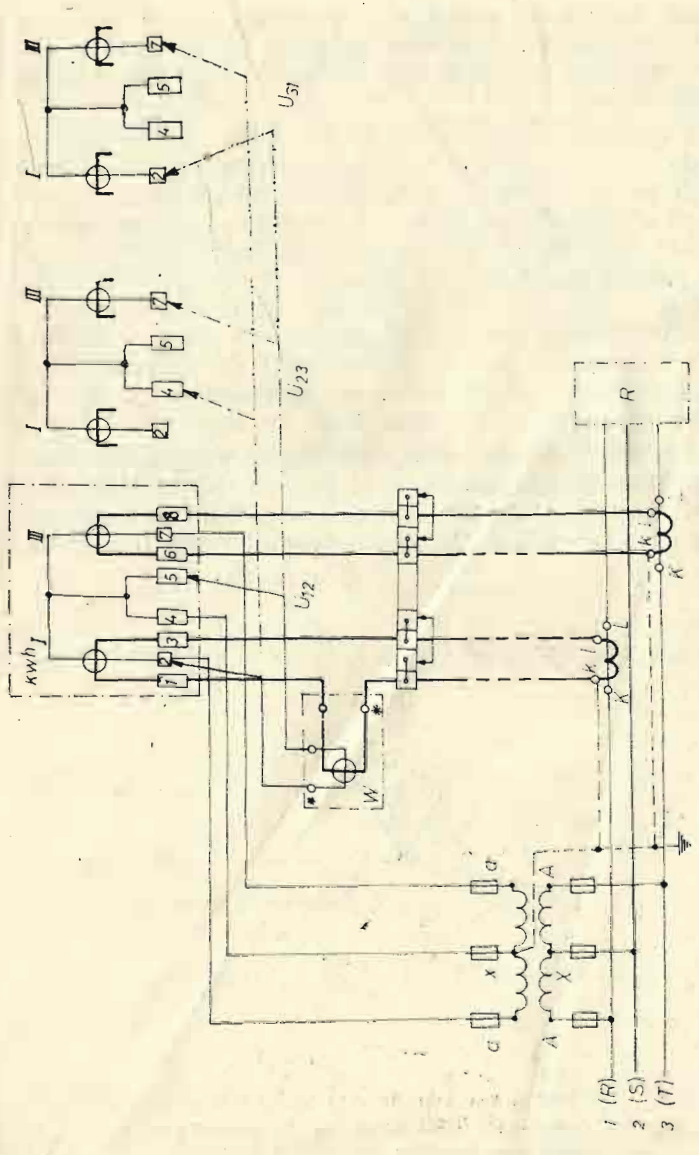


Fig. 3.8. Schema de legare a wattmetrului pentru ridicarea diagramei fazoriale la contorul trifazat cu două sisteme de măsură.

verificat. Bobina de tensiune a wattmetrului se pune în contact cu bornele aparatului indicate în paranteza pătrată : începutul la prima, iar sfîrșitul la cea de a doua bornă indicată.

Cu ajutorul wattmetrului se vor obține pentru fiecare fazor de curent cîte trei coordonate, respectiv cele trei proiecții pe tensiunile de linie care formează sistemul de referință a construcției grafice. În cazul considerat exemplificativ prin figura 3.8, pentru sistemul activ I, respectiv pentru fazorul $\underline{I}_I$ au rezultat proiecțiile : $+\,p_I^{(12)}$; $+\,p_I^{(23)}$ și $-\,p_I^{(31)}$, iar pentru fazorul curent $\underline{I}_{III}$ din sistemul activ III s-au obținut proiecțiile : $+\,p_{III}^{(12)}$; $-\,p_{III}^{(23)}$ și $+\,p_{III}^{(31)}$. Semnele + sau − s-au atribuit diviziunilor indicate, după cum acul indicator al wattmetrului a deviat spre dreapta sau spre stînga față de reperul zero (0).

Cu ajutorul acestor date citite de pe wattmetru, s-au construit fazorii de curenți $\underline{I}_I$ și $\underline{I}_{III}$ în sistemul de axe de referință constituit din direcțiile fazorilor de tensiune de linie $\underline{U}_{12}$; $\underline{U}_{23}$ și $\underline{U}_{31}$, în modul exemplificat prin figura 3.9.

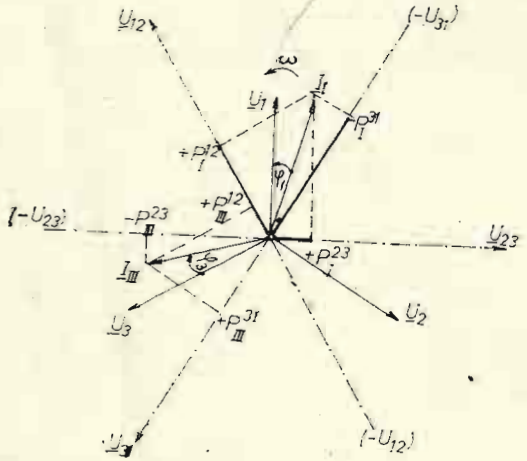


Fig. 3.9. Construirea celor doi fazori de curenți prin proiecțiile lor pe direcțiile tensiunilor de linie.

Din figură se poate constata că la constituirea sistemului de axe de referință s-a respectat secvența directă, iar axele definite prin fazorii tensiunilor de linie au fost translatate în punctul de origine (nul) al sistemului de referință.

Circuitele de tensiune fiind ordonate la bornele aparatului verificat (această ordonare s-a asigurat în prealabil măsurărilor cu wattmetru), deci condițiile exprimate prin relațiile (3.16) sînt îndeplinite, în continuare, după ridicarea diagramei curenților de acționare, analiza cu ajutorul ei, se rezumă la constatarea îndeplinirii condițiilor exprimate prin relațiile (3.17).

Cu ajutorul diagramei din fig. 3.9, în care secvența directă a fazelor este asigurată, se poate exprima matematic expresiile proiecțiilor, pe cele trei tensiuni de linie, ale fazorilor $\underline{I}_I$ și $\underline{I}_{III}$:

Proiecțiile fazorului $\underline{I}_I$:

$$\left.\begin{aligned} p_I^{(12)} &= \underline{I}\ U_{12}\cos(\widehat{\underline{I}_I, \underline{U}_{12}}) = I_I\,U_{12}\cos(30^\circ+\varphi_1)\\ p_I^{(23)} &= I_I\,U_{23}\cos(\widehat{\underline{I}_I, \underline{U}_{23}}) = I_I U_{23}\cos(90^\circ+\varphi_1) = \\ &\qquad = +\,I_I\,U_{23}\,\sin\varphi_1\\ p_I^{(31)} &= I_I U_{31}\cos(\widehat{\underline{I}_I, \underline{U}_{31}}) = I_I U_{31}\cos(150^\circ+\varphi_1) = \\ &\qquad = -\,I_I\,U_{31}\cos(30^\circ-\varphi_1) \end{aligned}\right\} \quad (3.23)$$

Proiecțiile fazorului $\underline{I}_{III}$;

$$\left.\begin{aligned} p_{III}^{(12)} &= I_{III}U_{12}\cos(\widehat{\underline{I}_{III}, \underline{U}_{12}}) = I_{III}\,U_{12}\cos(90^\circ-\varphi_3) = \\ &\qquad = +\,I_{III}\,U_{12}\sin\varphi_3\\ p_{III}^{(23)} &= I_{III}U_{23}\cos(\widehat{\underline{I}_{III}, \underline{U}_{23}}) = -\,I_{III}U_{23}\cos(30^\circ-\varphi_3)\\ p_{III}^{(31)} &= I_{III}U_{31}\cos(\widehat{\underline{I}_{IIb}, \underline{U}_{31}}) = +I_{III}U_{31}\cos(30^\circ+\varphi_3) \end{aligned}\right\} \quad (3.24)$$

Semnul proiecțiilor exprimate prin relațiile (3.23) și (3.24), în general depinde de valoarea defazajului φ. În cazul montajului corect proiecțiile $p_I^{(23)}$ și $p_{III}^{(12)}$ au valori pozitive dacă sarcina este inductivă, adică în domeniul $\varphi = 0° \ldots + 90°$. Dacă sarcina este capacitivă, deci $\varphi = -90° \ldots 0°$, semnul proiecțiilor menționate va fi negativ.

Proiecțiile $p_I^{(12)}$ și $p_{III}^{(31)}$ rezultă cu semnul pozitiv pentru φ cuprins în domeniul $-90° \ldots +60°$ și cu semnul negativ în domeniul $+60° \ldots +90°$. La rîndul lor proiecțiile $p_I^{(31)}$ și $p_{III}^{(23)}$ au valori pozitive numai în domeniul φ de $-90° \ldots -60°$ și valori negative în domeniul $-60° \ldots +90°$.

4. Conectarea corectă a aparatului trifazat cu trei sisteme de măsurare

4.1. Verificarea conexiunii realizate

Montarea aparatului de măsură poate fi considerată corectă dacă racordarea s-a realizat după schema dată (v. fig. 1.4, de exemplu), respectiv dacă prin verificarea funcționării sale s-a demonstrat că sînt îndeplinite condițiile exprimate prin relațiile (3.4 și 3.5) de la § 3.1.1.

Prin confirmarea îndeplinirii acestor condiții de către montator, conectarea aparatului în circuitele de tensiune și de curent ale instalației de măsură se consideră terminată. În scopul verificării corectitudinii conexiunilor, reconstituirea schemei circuitelor realizate poate fi făcută prin identificarea legăturilor dintre bornele transformatoarelor de măsură și bornele aparatului conectat, fie prin urmărire vizuală — dacă firele de legătură pot fi distinse și urmărite pe toată lungimea lor — fie prin „sunarea" lor. Aceste metode directe pot fi utilizate numai în condițiile scoaterii din funcțiune a instalației electrice și nu dezvăluie eventualele erori de legături interne din transformatoarele de măsură.

Schema conexiunii existente, fără scoaterea instalațiilor primare și secundare de sub tensiune, se poate determina (reconstitui) în mod indirect cu ajutorul metodei bazate pe analiza diagramei fazoriale. Metoda diagramei fazoriale este superioară celor directe datorită mai multor avantaje: analiza se face cu ajutorul mărimilor de funcționare, nu se necesită întreruperea alimentării cu energie electrică a consumatorului și are productivitate superioară. Metoda diagramei fazoriale are o tehnicitate superioară metodelor directe, întrucît prin ea se

pot identifica eventualele abateri în conexiunile circuitelor în mod concret, fără scoaterea din funcțiune a instalațiilor. În afara determinării schemei conexiunii verificate fără întreruperea circuitului primar, diagrama ridicată oferă o informare generală privind încărcarea fazelor, caracterul sarcinii (inductivă, capacitivă sau ohmică) și mărimea unghiului de defazaj pe faze în momentul măsurărilor efectuate cu wattmetru (vezi subcap 3.2).

Interpretarea diagramei fazorile se simplifică foarte mult, reducîndu-se la identificarea curenților ce acționează în sistemele active ale aparatului verificat, dacă se procedează la operațiunile de verificare în ordinea indicată mai jos :

a) Ordonarea circuitelor de tensiune :

— Verificarea simetriei tensiunilor de fază la bornele aparatului cu ajutorul voltmetrului. Dacă se constată egalitățile $U_{IN} = U_{IIN} = U_{IIIN} = U_f$, una din condiții pentru a se putea considera sistem de referință fazorii tensiunilor de fază este îndeplinită. În caz contrar, înainte de continuarea verificărilor, se va proceda la restabilirea acestor egalități prin eliminarea deranjamentului existent.

— Verificarea succesiunii fazelor. Trebuie să fie succesiunea fazelor directă la bornele aparatului în ordinea sistemelor active *I*, *II* și *III* (discul indicatorului să se rotească în sensul orar); dacă se constată succesiune inversă, se vor schimba între ele două legături de tensiune la bornele aparatului de măsură prin care se va obține succesiune directă.

b) Construirea grafică a sistemului de referință :

— Se transpun direcțiile fazorilor $\underline{U}_1$, $\underline{U}_2$, și $\underline{U}_3$ într-un desen; (principiul metodei permite utilizarea unei fișe de verificare concepută, cu sistemul de referință dinainte construită (v. tabelul 4.1).

c) Montarea wattmetrului :

— Conform schemei din figura 3.6 se realizează montajul și se efectuează măsurările potrivit procedeului indicat la § 3.2.2.

d) Construirea grafică a fazorilor de curent $\underline{I}_I$, $\underline{I}_{II}$ și $\underline{I}_{III}$ cu ajutorul coordonatelor citite de pe wattmetru conform procedeului indicat la § 3.2.2.

e) Interpretarea diagramei fazorilor de curenți și reconstituirea schemei conexiunii circuitelor de curent existente ;

f) Identificarea eventualelor erori de conexiune și eliminarea acestora ;

g) Confirmarea restabilirii schemei de conexiune corecte se obține printr-o nouă măsurare cu wattmetru și pe această bază se construiește noua diagramă fazorială care va trebui să fie identică cu cea prezentată în fig. 3.2 (varianta *a*, *b* sau *c* după caracterul sarcinei).

4.2. Valorificarea rezultatelor obținute prin verificare

Rezultatele verificării circuitelor de tensiune se consideră valorificate prin ordonarea tensiunilor la bornele aparatului în succesiunea directă (v. punctele, a, și b de la subcapitolul 4.1). Prin interpretarea diagramei curenților se urmărește modul de asociere a fazorilor de curenți din sistemele *I*, *II* și *III* cu fazorii de tensiune și respectiv orientarea sensului acestor fazori de curent, prin care se identifică polaritatea acestora. Dacă se cunoaște dinainte caracterul sarcinei, aceasta fiind inductivă, iar din diagramă se constată că fazorul $\underline{I}_I$ este defazat în urma fazorului $\underline{U}_1$, cu un unghi de $0° < \varphi < +90°$ aceeași situație constatîndu-se și la celelalte două sisteme active, cu certitudine se pot scrie egalitățile :

$\underline{I}_I = \underline{I}_1$; $\underline{I}_{II} = \underline{I}_2$ și $\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$ conform condiției din relația (3.5), cazul corespunzînd situației ilustrate prin fig. 3.2. varianta *a*.

În cazul sarcinei capacitive, la schemă corectă, fazorii de curenți rezultă defazați înaintea fazorilor de tensiune de fază cu unghiul de defazaj de valoare $-90° < \varphi < 0°$ (v. fig. 3.2, varianta *c*).

Dacă sarcina este ohmică, unghiul de defazaj are valoare $\varphi = 0°$, respectiv direcția fazorilor de curent se suprapune cu direcția fazorilor de tensiune de fază (fig. 3.2, *b*).

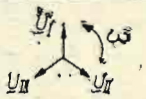
Dacă fazorul de curent este orientat în sens contrar (rotit cu 180°) față de poziția lui corectă, acest fapt se explică prin inversarea polarității acelui curent, respectiv în bobina de curent a sistemului activ al aparatului veri-

Tabelul 4.1

Fişă de verificare

Exemplu de verificare a conexiunii la un contor trifazat cu trei sisteme de măsură

Instalaţia : Grup măsură la P.T. 2 I. M. Harghita — Băile Harghita

		Contor activ	Contor reactiv	Transformatoare de curent	Constantele grupului de măsură
Caracteristicile grupului de măsurare	Tipul	CA—43	CR—33	CIS—0,5	$K_a = \frac{\frac{600}{5}}{\frac{100}{5}} = 6$
	Seria	1.902 231	1.415808	351/352/353	
	Raport curent	100/5	600/5	600/5	
	Constantă internă C	1	10	—	$K_r = \frac{\frac{600}{5}}{\frac{600}{5}} \cdot 10 = 10$
1	2	3	4	5	6
Simetria tensiunilor	$U_{1N} = U_{11N} = U_{111N} = (U_{1N} = U_{2N} = U_{3N}) = 224$ V ; Sistemul de tensiuni este simetric				
Succesiunea fazelor		Corespunde, este directă (rotorul indicatorului se mişcă în sens orar, spre dreapta).			
Corespondenţa circuitelor de tensiune cu cele de curent	Circuitele de tensiune sînt asociate cu cele de curent la fiecare sistem activ al contorului. (Fiecare sistem activ este racordat atît prin circuitul de curent cît şi prin legătura de tensiune la aceeaşi fază).				

Tabelul 4.1 (continuare)

Durata blocării grupului de măsură	Prin scoaterea siguranţelor pentru schimbarea succesiunii fazelor	Prin şuntarea transformatoarelor de curent pentru introducerea şi scoaterea wattmetrului
	Nu a fost necesară	70 min

Rezultatele măsurărilor cu wattmetru

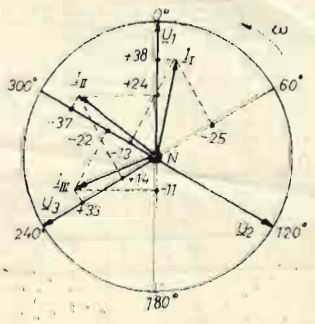
Prima măsurare

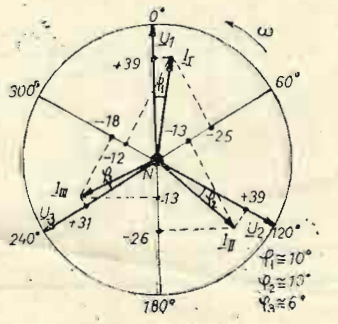
Sistemul activ	Coordonatele pe direcţia tensiunilor		
	U_{1N}	U_{2N}	U_{3N}
I	+38	—13	—25
II	+24	—37	+14
III	—11	—22	+33

A doua măsurare

Sistemul activ	Coordonatele pe direcţia tensiunilor		
	U_{1N}	U_{2N}	U_{3N}
I	+39	—12	—25
II	—26	+39	—13
III	—13	—18	+31

Diagrama vectorială a curenţilor din bobinele de curent ale sistemelor active. Scara 1 mm = 2 diviz.





Tabelul 4.1 (continuare)

1	2	3	4	5	6
Schema de conectare a circuitelor de curent	$\underline{I}_I \equiv \underline{I}_1$	$\underline{I}_{II} \equiv -\underline{I}_2$	$\underline{I}_{III} \equiv \underline{I}_3$	$\underline{I}_I \equiv \underline{I}_1$	$\underline{I}_{II} \equiv \underline{I}_2$ | $\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$
Concluzii și măsuri de corectare	Prin sistemul II trece inversul curentului secundar de pe faza 2. Pentru corectare este necesară schimbarea polarității			În urma schimbării legăturilor circuitului de curent al sistemului II la bornele contorului. S-a realizat conexiunea corectă confirmată prin cea de a doua diagramă	
	Corectarea circuitului de curent s-a operat și la contorul reactiv.				

Numele și semnătura : Data : ...

ficat el circulă în sens invers : de la borna de sfîrșit spre borna de început. Într-o asemenea imagine se poate exprima sensul circulației curenților astfel $\underline{I}_I = -\underline{I}_1$; $\underline{I}_{II} = -\underline{I}_2$ și $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_3$ după caz (pot fi situații în care un curent este cu polaritate inversă, doi curenți cu polaritate inversă sau chiar toți trei curenți să fie cu circulație în sens invers).

Eroarea de conexiune, în cazul polarității inversate, se elimină prin schimbarea între ele a celor două legături de curent de la sistemul activ respectiv al aparatului.

O altă eroare de conexiune poate consta în asocierea unui fazor de tensiune cu un curent de pe altă fază străină, deci cînd, de exemplu, în sistemul activ I, în bobina de tensiune acționează fazorul $\underline{U}_1$ ($\underline{U}_I \equiv \underline{U}_1$) iar în bobina de curent în locul curentului $\underline{I}_1$, acționează curentul de pe faza 2, ($\underline{I}_I \equiv \underline{I}_2$). O asemenea eroare prin diagrama fazorială se poate observa ușor prin faptul că fazorul de curent $\underline{I}_I$ (măsurat la sistemul activ I al aparatului) apare în domeniul cunoscut al curentului de fază $\underline{I}_2$. Aceste interpretări sînt la îndemînă, mai ales atunci cînd verificatorul cunoaște dinainte caracterul sarcinei, respectiv ordinea de mărime a defazajului. Desigur, după ce s-a constat că între cele două sisteme active are loc schimbarea curenților de fază, eliminarea erorii se obține prin schimbarea legăturilor de curent între bornele celor două sisteme active ale aparatului verificat.

Problema interpretrii diagramei fazoriale de curent, în cazul necunoașterii carcterului sarcinei, respectiv a ordinei de mărime a defazajului, impune o analiză mai atentă. Dată fiind însă simplitatea relativă a instalațiilor de măsură în care se utilizează aparate cu trei sisteme active, de regulă acestea sînt montaje semidirecte, existînd numai transformatoarele de curent ; verificarea asocierii corecte în sistemul activ al curentului secundar de pe o fază cu tensiunea de pe aceeași fază poate fi făcută cu ajutorul voltmetrului. În aceste instalații distanța dintre aparatul de măsură și barele cu transformatoarele de curent este mică (de ordinul cîtorva metri) ; cu ajutorul voltmetrului poate fi identificat ușor potențialul comun al fazei, la bara pe care este montat trans-

formatorul de curent și la sistemul activ al aparatului conectat în circuitul secundar al transformatorului de curent respectiv.

Dacă asocierea circuitului de curent cu legătura de tensiune de la aceeași fază este asigurată la fiecare sistem activ al aparatului conectat (rezolvată cu ajutorul voltmetrului), cu ajutorul diagramei fazoriale se va verifica polaritatea și se va ordona, dacă este cazul, sensul corect al circulației curentului prin bobina de curent al aparatului. După realizarea conexiunii corecte, diagrama fazorială ridicată din nou va oferi informații certe privind modul de încărcare a fazelor, caracterul sarcinei și ordinea de mărime a defazajelor pe fiecare fază în parte.

În tabelul 4.1 se prezintă drept exemplu o fișă de verificare adecvată metodei prezentate, exemplificînd un caz concret de eroare de conexiune constatată și eliminată la legăturile unui contor de energie electrică activă (CA—43), avînd trei sisteme active de măsurare.

5. Conectarea corectă a aparatului trifazat cu două sisteme de măsurare

5.1. Reconstituirea montajului realizat

După cum am văzut la § 3.1.2, condițiile conectării corecte a aparatului în circuitele secundare de măsură sînt cele exprimate prin relațiile (3.16) și respectiv (3.17). Pentru verificarea și atestarea îndeplinirii acestor condiții, sau pentru a constata abaterile față de acestea, este necesar să se reconstituie schema conexiunilor reale existente în instalația dată.

Prin compararea schemei ridicate (reconstituite) din instalația verificată cu cea definită teoretic (dată de fabricantul aparatului de măsură) se va constata identitatea acestor două scheme sau deosebirile dintre ele. În cazul constatării unor abateri în schema reconstituită față de schema corectă, se vor reține abaterile și apoi se vor elimina prin mutările legăturilor ce se impun, la bornele aparatului conectat, verificat. După operațiunile de corectare, în cazul contoarelor de energie electrică, este necesară și determinarea coeficientului de corecție cu ajutorul căruia se va putea calcula cantitatea reală de energie față de cantitatea măsurată prin conexiunile eronate, în vederea regularizării decontării schimbului de energie electrică în acel nod de rețea.

Ridicarea schemei conexiunilor instalației de măsură presupune următoarele faze de lucru :

— Identificarea legăturilor realizate între bornele primare ale transformatoarelor de măsură și fazele instalației primare, respectiv între bornele înfășurărilor secundare ale acestor transformatoare de măsură și bornele aparatului de măsură conectat ;

— identificarea polarității transformatoarelor de măsură (de tensiune și cele de curent) ;

— identificarea fazei 2 (de referință) și a modului de realizare a legăturii la pămînt a secundarului transformatorului de tensiune ;

— determinarea secvenței (succesiunea) fazelor de tensiune ;

— identificarea modului de realizare a legăturii la pămînt a secundarelor celor două transformatoare de curent utilizate pentru măsură (recunoașterea tipului de punte).

În cazul montajului unei noi instalații sau într-o instalație aflată în exploatare care poate fi scoasă de sub tensiune, ridicarea schemei conexiunilor, prin efectuarea pe rînd a fazelor de lucru enumerate mai sus (cu excepția verificării succesiunii fazelor), poate fi realizată relativ ușor prin metodele cunoscute, aplicabile în instalațiile scoase din funcțiune (urmărirea vizuală, sunarea circuitelor, determinarea polarității transformatoarelor, de măsură prin metoda balistică și cu diverse alte măsurări).

Pentru prevenirea oricăror erori de conexiune, respectiv eliminarea recalculărilor apelînd la coeficienții de corecție (care în majoritatea cazurilor prezintă greutăți atît în determinarea relației de calcul cît și în calculul în sine), pe tot parcursul și în condițiile exploatării, mai ales în cazul instalațiilor a căror circuite primare nu pot fi scoase din funcțiune pe durate necesare verificărilor prin metodele directe, se impune aplicarea unor metode indirecte de verificare-corectare cu un randament ridicat. Scopul verificării conexiunilor fiind asigurarea corectei funcționării a aparatelor de măsură conectate, se justifică ca aceste verificări să se bazeze pe caracteristicile de funcționare prelevate însăși din acestea în timpul funcționării lor.

Desigur, în cazul concret al contoarelor electrice pentru măsurarea energiei active și a energiei reactive (CA—32 și CR—32), o caracteristică de funcționare o constituie rotația discului. Rotirea discului în sens invers sau oscilarea lui duce la concluzia certă că aparatul este conectat greșit (eronat). Se subliniază însă faptul că prin încercările variantelor de conectare (prin modificarea la întîmplare a legăturilor la bornele contorului) pentru obținerea rotirii discului în sensul indicat de săgeata de pe carcasa aparatului, constituie numai pierdere de timp, întrucît astfel nu se poate identifica starea conexiunii. După cum reiese din literatura de specialitate [1], sensul de rotire „înainte" al discului contorului nu confirmă corectitudinea conexiunii, existînd mai multe variante de conexiuni eronate care, ca și varianta corectă, duc la cupluri de rotire pozitive.

Verificarea funcționării aparatului de măsură, inclusiv reconstituirea și corectarea schemei circuitelor în care este conectat, poate fi rezolvată pe cale indirectă, utilizînd metoda de analiză bazată pe mărimile funcționale (fazorii curenților și a tensiunilor) prelevate din instalația verificată, cu ajutorul diagramei fazoriale. Această metodă permite rezolvarea tuturor aspectelor ce pot apărea în instalația de măsură, inclusiv cele legate de polaritatea curenților din aparatul de măsură, indiferent dacă inversarea polarității se datorește montajului sau greșelilor de legături interne din transformatoarele de curent.

5.2. Corelații între diagramele fazoriale și schemele variantelor de conexiune ale circuitelor de curent

Fiecărei combinații posibile a legăturilor circuitelor de măsură, îi corespunde o imagine geometrică caracteristică a diagramei fazoriale.

În ipoteza conectării corecte a circuitelor de tensiune la bornele aparatului, numărul imaginilor geometrice se

restrînge la cele caracteristice corespunzătoare variantelor de legare ale circuitelor de curent. Această simplificare ușurează mult interpretarea diagramelor fazoriale, reducîndu-se numărul lor de șase ori (v. rîndul 3 din tabelul 2.2.).

Condiția preliminară de mai sus, din punct de vedere practic, poate fi îndeplinită întrucît identificarea circuitelor de tensiune și ordonarea legăturilor în succesiunea directă a fazelor la bornele aparatului conectat, se realizează prin procedee simple, utilizînd în acest scop voltmetrul și indicatorul de succesiune a fazelor.

Cu simplificarea problemei, prin ordonarea prealabilă a tensiunilor, deci înainte de începerea măsurărilor cu wattmetru, analiza diagramei fazoriale ridicate se rezumă la rezolvarea următoarelor probleme :

— determinarea combinației geometrice a fazorilor curenților de fază secundari, care compun fazorii curenților de acționare din sistemele active ale aparatului ;

— reproducerea schemei circuitelor secundare de curent, prin găsirea acelor legături între aparatul conectat și transformatoarele de curent care determină circulația curenților de acționare în sistemele active.

Din natura montajului aparatului cu două sisteme active, ce funcționează pe principiul măsurării puterii trifazate cu două wattmetre, rezultă că prin sistemele active *I* și *III* ale aparatului poate circula cîte unul din curenții de fază $\underline{I}_1$, $\underline{I}_3$, inversii lor ($-\underline{I}_1$, $-\underline{I}_3$), sau cîte o combinație geometrică a lor, exprimate cu ajutorul relațiilor vectoriale generale (5.1.) :

$$\left.\begin{aligned} \underline{I}_I &= k_1\ \underline{I}_1 + k_2\ \underline{I}_3 \\ \underline{I}_{III} &= k_3\ \underline{I}_1 + k_4\ \underline{I}_3 \end{aligned}\right\} \qquad (5.1)$$

în care :

$\underline{I}_I$ este curentul de acționare în sistemul activ *I* al aparatului ;

$\underline{I}_{III}$ este curentul de acționare în sistemul activ *III*, iar coeficienții k_1, k_2, k_3 și k_4 pot lua, fiecare în parte, valorile 0, $+1$ sau -1.

Cu ajutorul figurii 5.1 se explicitează cele opt poziții relative pe care le poate ocupa în diagramă fazorul curentului de acționare din sistemul activ al aparatului (exemplificare dată pentru sarcina inductivă ; $\varphi > 0°$).

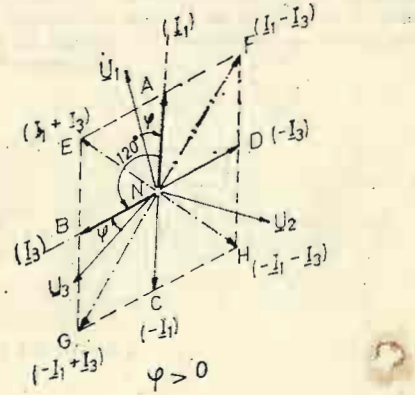


Fig. 5.1. Pozițiile posibile ale vectorului curentului de acționare la aparatul cu două sisteme de măsură.

În figura 5.1, pozițiile relative ale fazorilor curenților de acționare posibili, sînt notate cu majusculele *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *H* și se poate observa că acești fazori reprezintă curenții $\underline{I}_1$, $\underline{I}_3$, $-\underline{I}_1$, $-\underline{I}_3$, $\underline{I}_1 + \underline{I}_3$, $\underline{I}_1 - \underline{I}_3$, $-\underline{I}_1 + \underline{I}_3$ și $-\underline{I}_1 - \underline{I}_3$.
Imaginea caracteristică a diagramei fazoriale a curenților, corespunzătoare conexiunii corecte a circuitelor de curent ($\underline{I}_I \equiv \underline{I}_1$ și $\underline{I}_{III} \equiv \underline{I}_3$), este cea simbolizată prin majusculele *A* și *B*, în figura 5.1 fiind evidențiată prin cuplul de vectori îngroșați $\overleftarrow{AN}$ și respectiv $\overleftarrow{BN}$. Varianta de schemă de conexiune corectă a circuitelor de curent, caracterizată prin imaginea diagramei fazoriale menționate, în mod convențional s-a simbolizat cu perechea de majuscule *AB*. Același principiu de simbolizare, descris mai sus, s-a adoptat și pentru celelalte variante de conexiuni posibile, deci fiecare variantă de schemă se identifică prin cîte o pereche de majuscule din cele consacrate și utilizate în figura 5.1.

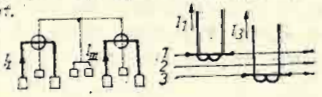
Corelațiile dintre diagramele fazoriale caracteristice și variantele de conexiune ale circuitelor secundare de curent sînt prezentate în tabelele 5.1 și 5.2.

Tabelul 5.1

Corelația diagramelor fazoriale caracteristice cu variantele posibile de legare a circuitelor de curent la contorul cu două sisteme active — cazul montajului cu patru fire — în ipoteza că legăturile circuitelor de tensiune sînt corecte

Observații:

1. *Diagramele vectoriale sînt exemplificate pentru sarcina inductivă.*
2. *λ este un coeficient subunitar care ține cont de creșterea impedanței secundare a transformatoarelor de curent.*
3. *I_1, I_{III} sînt curenții din bobinele de curent ale sistemelor active, așa cum se poate vedea în figura alăturată.*
4. *I_1, I_3 sînt curenții din secundarul transformatoarelor de curent, așa cum se poate vedea în figura alăturată.*



Tabelul 5.1.1

Diagramele caracteristice de circuitelor din bobinele de curent ale sistemelor active	Curenții din bobinele de curent ale sistemelor active I_1 și I_{III}	Schema de montaj a circuitelor de curent în cazurile diferite de legare la pămînt a secundarelor transformatoarelor de curent.				
		Circuitele sînt independente	Circuitele de curent ale celor două transformatoare nu sînt independente.			
		Circuite din cazurile a, b, c, d	a	b	c	d
		3	4	5	6	7
AB, $\Psi = 120°$	$I_1 = I_1$ $I_{III} = I_3$	1	9a	9b	9c	9d

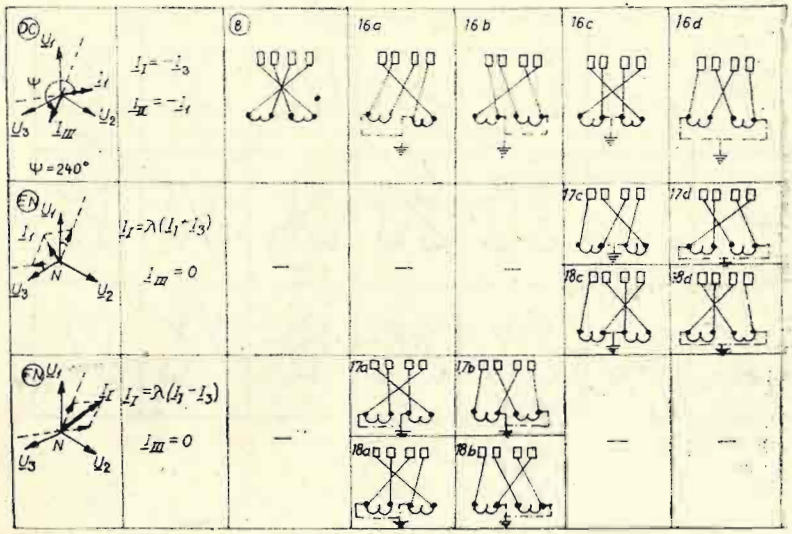
Tabelul 5.1.2

AD, $\Psi = 300°$	$I_1 = I_1$ $I_{III} = -I_3$	2	10a	10b	10c	10d
CB, $\Psi = 300°$	$I_1 = -I_1$ $I_{III} = I_3$	3	11a	11b	11c	11d
CD, $\Psi = 120°$	$I_1 = -I_1$ $I_{III} = -I_3$	4	12a	12b	12c	12d

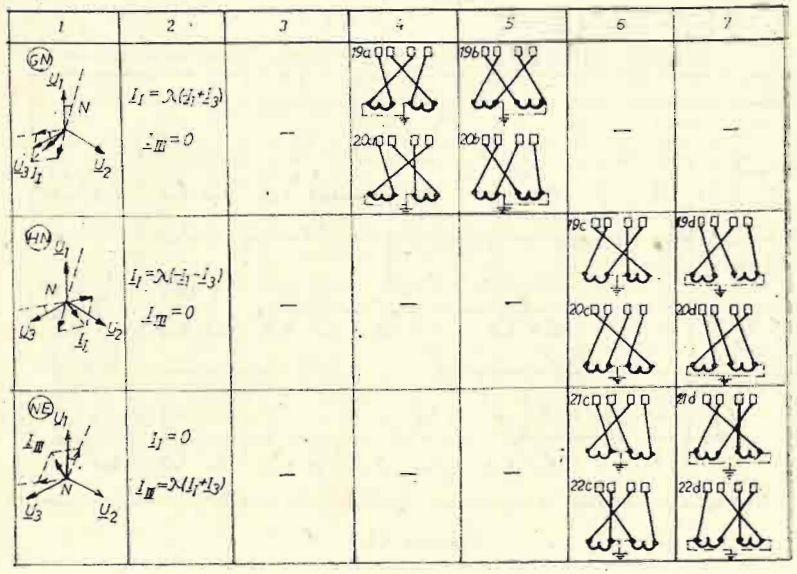
Tabelul 5.1.3

BA, $\Psi = 240°$	$I_1 = I_3$ $I_{III} = I_1$	5	13a	13b	13c	13d
BC, $\Psi = 60°$	$I_1 = I_3$ $I_{III} = -I_1$	6	14a	14b	14c	14d
DA, $\Psi = 60°$	$I_1 = -I_3$ $I_{III} = -I_1$	7	15a	15b	15c	15d

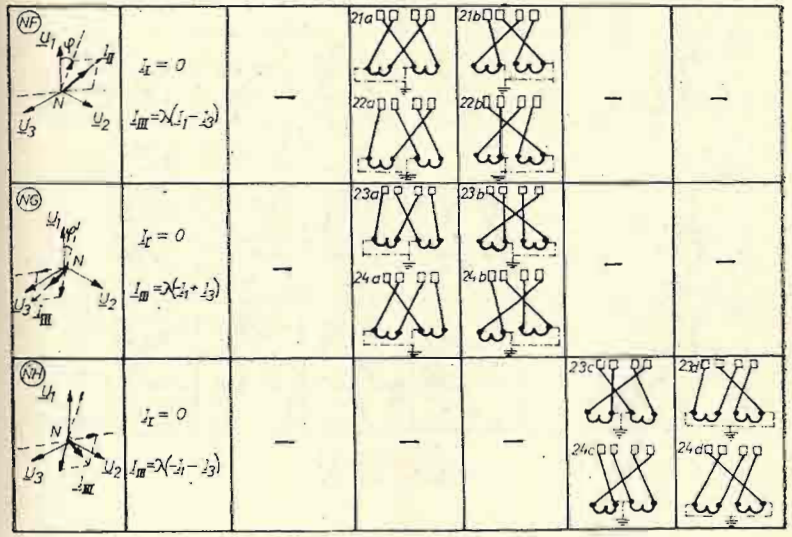
Tabelul 5.1.4



Tabelul. 5.1.5



Tabelul 5.1.6



Tabelul 5.1.7

Tabelul 5.2

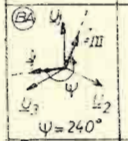
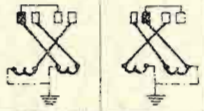
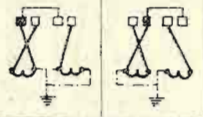
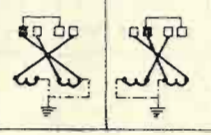
Corelația diagramelor fazoriale caracteristice cu variantele posibile de legare a circuitelor de curent la contorul cu două cisteme active — cazul montajului cu trei fire — în ipoteza că legăturile la bobinele de tensiune sînt corecte

Diagrama caracteristică	Curenții din bobinele de curent ale sistemelor active I și III	Schema de montaj a ansamblului circuitelor de curent pentru cazurile diferite de realizare a punții de legătură la contor			
		①	②	③	④
1	2	3	4	5	6
AB	$\underline{I}_I = \underline{I}_1$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$	a	b	c	d

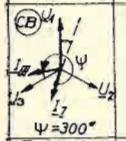
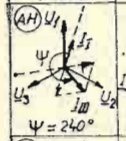
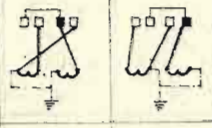
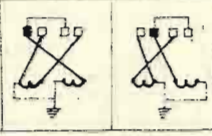
Observații : 1. Diagramele fazoriale sînt exemplificate pentru sarcină inductivă.

2. Semnificațiile curenților I_I I_{III}, I_1 și I_3 sînt date în observațiile 3 și 4 de la tabelul 5.1

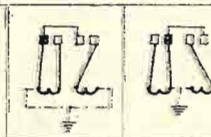
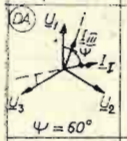
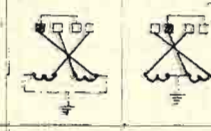
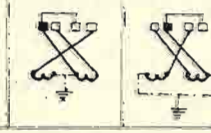
Tabelul 5.2.1

1	2	3	4	5	
BA 	$\underline{I}_1 = \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_2$				
CD	$\underline{I}_1 = -\underline{I}_2$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_3$				
DC	$\underline{I}_1 = -\underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_2$				

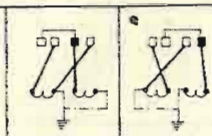
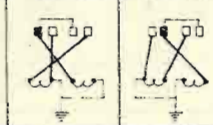
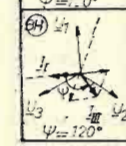
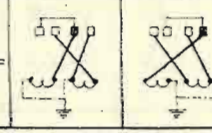
Tabelul 5.2.2

1	2	3	4	5	6
CB 	$\underline{I}_1 = -\underline{I}_1$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$				
AH 	$\underline{I}_1 = \underline{I}_1$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1 - \underline{I}_3 = \underline{I}_2$			—	—
HA	$\underline{I}_1 = -\underline{I}_1 - \underline{I}_3 = \underline{I}_2$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1$			—	—

Tabelul 5.2.4

AD	$\underline{I}_1 = \underline{I}_1$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_3$				
DA 	$\underline{I}_1 = -\underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1$				
BC	$\underline{I}_1 = \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1$				

T abelul 5.2.3

CE	$\underline{I}_1 = -\underline{I}_1$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1 + \underline{I}_3$			—	—
EC	$\underline{I}_1 = \underline{I}_1 + \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1$			—	—
BH 	$\underline{I}_1 = \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1 - \underline{I}_3 = \underline{I}_2$			—	—

Tabelul 5.2.5

1	2	3	4	5	6
AB	$\underline{I}_1 = -\underline{I}_1 - \underline{I}_3 = \underline{I}_2$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$			—	—
DE	$\underline{I}_1 = -\underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1 + \underline{I}_3$			—	—
EC	$\underline{I}_1 = \underline{I}_1 + \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_3$			—	—

Tabelul 5.2.6

1	2	3	4	5	6
AG	$\underline{I}_1 = \underline{I}_1$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1 + \underline{I}_3$			—	—
GA	$\underline{I}_1 = -\underline{I}_1 + \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1$			—	—
CF	$\underline{I}_1 = -\underline{I}_1$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1 - \underline{I}_3$			—	—

Tabelul 5.2.7

1	2	3	4	5	6
FC	$\underline{I}_1 = \underline{I}_1 - \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1$			—	—
AF	$\underline{I}_1 = \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1 - \underline{I}_3$			—	—
FB	$\underline{I}_1 = \underline{I}_1 - \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$			—	—

Tabelul 5.2.8

1	2	3	4	5	6
DG	$\underline{I}_1 = -\underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1 + \underline{I}_3$			—	—
GD	$\underline{I}_1 = -\underline{I}_1 + \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_3$			—	—
AE	$\underline{I}_1 = \underline{I}_1$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_1 + \underline{I}_3 = -\underline{I}_2$	—	—		

Tabelul 5.2.9

1	2	3	4	5	6
EA	$\dot{I}_1=\dot{I}_1+\dot{I}_3=$ $=-\dot{I}_2$ $\dot{I}_{III}=\dot{I}_1$	—	—		
EH	$\dot{I}_1=-\dot{I}_1$ $\dot{I}_{III}=-\dot{I}_1-\dot{I}_3=$ $=\dot{I}_2$	—	—		
EC	$\dot{I}_1=-\dot{I}_1-\dot{I}_3=$ $=\dot{I}_2$ $\dot{I}_{III}=\dot{I}_2$	—	—		

Tabelul 5.2.10

1	2	3	4	5	6
EE	$\dot{I}_1=\dot{I}_3$ $\dot{I}_{III}=\dot{I}_1+\dot{I}_3$	—	—		
EB	$\dot{I}_1=\dot{I}_1+\dot{I}_3$ $\dot{I}_{III}=\dot{I}_3$	—	—		
EH	$\dot{I}_1=-\dot{I}_3$ $\dot{I}_{III}=-\dot{I}_1=\dot{I}_2=$ $=\dot{I}_2$	—	—		

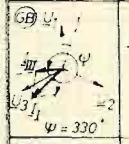
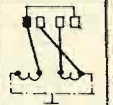
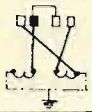
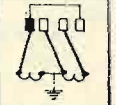
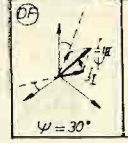
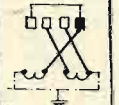
Tabelul 5.2.11

1	2	3	4		6
HD	$\dot{I}_1=-\dot{I}_1-\dot{I}_3=$ $=\dot{I}_2$ $\dot{I}_{III}=\dot{I}_3$	—	—		
AF	$\dot{I}_1=\dot{I}_1$ $\dot{I}_{III}=\dot{I}_1-\dot{I}_3$	—	—		
FA	$\dot{I}_1=\dot{I}_1-\dot{I}_3$ $\dot{I}_{III}=\dot{I}_1$	—	—		

Tabelul 5.2.12

1	2	3	4		6
CG	$\dot{I}_1=-\dot{I}_1$ $\dot{I}_{III}=-\dot{I}_1+\dot{I}_3$	—	—		
CC	$\dot{I}_1=-\dot{I}_1+\dot{I}_3$ $\dot{I}_{III}=-\dot{I}_1$	—	—		
GG	$\dot{I}_1=\dot{I}_3$ $\dot{I}_{III}=-\dot{I}_1+\dot{I}_3$	—	—		

Tabelul 5.2.13

1	2	3	4	5	6
GB 	$\underline{I}_I = -\underline{I}_1 + \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$	—	—		
FD	$\underline{I}_I = \underline{I}_1 - \underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_3$	—	—		
DA 	$\underline{I}_I = -\underline{I}_3$ $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1 - \underline{I}_3$	—	—		

Tabelul 5.2.14

În ambele tabele, în rîndul întîi se regăsește cazul montajului corect, caracterizat de cuplul de vectori $\underline{I}_I = \underline{I}_1$ și $\underline{I}_{III} = \underline{I}_3$ într-o imagine caracteristică și variantele AB de conexiuni corecte aferente. În celelalte rînduri se regăsesc restul variantelor posibile, desigur eronate, din care verificatorul trebuie să readucă situația schemei, prin corectarea legăturilor, în cea din rîndul întîi (AB).

5.2.1 Circuite de curent cu patru conductoare

În tabelul 5.1 sînt cuprinse variantele de conexiune ale circuitelor de curent și imaginile vectoriale caracteristice aferente (inclusiv expresiile cuplului curenților de acționare din aparat în funcție de curenții de fază) pentru montajul realizat cu patru fire.

În primele opt linii se regăsesc acele variante de conexiune în care prin fiecare sistem activ al aparatului acționează cîte un curent de fază secundar, în diverse cazuri de polaritate. Ultimele opt rînduri cuprind situațiile în care una din bobinele de curent ale aparatului este

parcursă de o combinație a celor doi curenți secundari de fază, iar cealaltă bobină este șuntată, deci în diagramă apare numai un singur fazor de curent.

În ultimele situații, pentru obținerea unei imagini vectoriale interpretabile (în care să apară ambii fazori $\underline{I}_I$ și $\underline{I}_{III}$), se schimbă între ele cîte o legătură de la cele două sisteme active ale aparatului, după care se repetă ridicarea diagramei fazoriale a curenților. Noua conexiune, cu certitudine, se va încadra într-unul dintre primele opt rînduri ale tabelului, permițînd analiza și interpretarea diagramei obținute. De asemenea, se poate observa că în primele opt rînduri, schemele de conexiune ale circuitelor de curent, aferente unei imagini vectoriale caracteristice (în același rînd) pot fi de opt feluri:

— Dacă circuitele celor două transformatoare de curent sînt separate, conexiunile legăturilor exterioare sînt identice în toate cele patru variante de realizare a punții de legare la pămînt (tip *a*, *b*, *c* și *d*), deci diferă între ele numai prin legătura la pămînt a secundarelor transformatoarelor de curent (v. coloana 3 din tabel);

— Dacă legăturile exterioare ale celor două transformatoare de curent nu sînt separate (independente), închiderea circuitului realizîndu-se printr-o legătură a celuilalt transformator de curent și puntea de pămîntare, conexiunea legăturilor exterioare diferă între ele în funcție de tipul legăturii de pămîntare (*a*, *b*, *c* sau *d*), corespunzînd configurațiilor din coloanele 4, 5, 6 și 7 din tabel.

Într-o instalație de măsură în funcțiune nu se poate identifica (fără întrerupere de tensiune) starea separată sau combinată a celor două circuite de curent, deoarece imaginea vectorială obținută prin măsurători nu determină în mod univoc schema legăturilor de montaj ci numai circulația de curent din sistemele aparatului, adică numai rîndul corespunzător (cu cele opt variante de conexiuni posibile menționate mai sus). Această determinare univocă a configurației legăturilor, din fericire, nici nu este necesară pentru corectarea circulației curenților în sistemele active ale aparatului de măsură, întrucît variantele de conexiune din aceeași linie, aferente aceleiași imagini vectori-

varianta de conexiune, în afara tipului de punte la aparat, trebuie să fie cunoscută și modalitatea de realizare a legăturii de pămîntare de la secundarele transformatoarelor de curent.

Notăm deci că, din punct de vedere a reproducerii schemei conexiunii existente, informațiile „valoarea defazorului φ" și „tipul de punte la transformatoarele de curent" sînt echivalente ; trebuie să fie cunoscută ori una ori alta pentru a se putea rezolva reconstituirea schemei. Pentru corectarea unei conexiuni eronate, și în cazurile grupate în tabelul 5.2 se pune problema identificării stării de eroare (determinarea rîndului în care se încadrează coexiunea existentă), care apoi comparată cu schema corectă din linia AB, se va putea remedia, efectuîndu-se modificările de legături, ce se impun, la bornele aparatului verificat.

5.3. Influența modului de legare la pămînt a bornelor secundare ale transformatoarelor de curent

5.3.1. Cazul montajului realizat cu trei conductoare

Puntea dintre cele două transformatoare de curent îndeplinește două roluri ;

— legarea secundarelor la pămînt din considerente de protecție ;

— închiderea circuitului celui de al doilea transformator, utilizînd în comun una din legăturile primului transformator, drept cale de curent pînă la aparatul conectat în aceste circuite. După cum se poate constata în tabelul 5.2, la montajul cu trei fire, există o corelație bine determinată între diagrama fazorială caracteristică și schema de conexiune a circuitelor de curent în care atît puntea de pămîntare cît și puntea de la bornele aparatului de măsură sînt elemente funcționale ale circuitelor. Respectiv, o dată cu identificarea legăturilor exterioare și reproducerea schemei de conexiune, în mod implicit se indentifică și modul de realizare al acestor legături de punte.

La ridicarea diagramei fazoriale, apariția numai unuia dintre fazorii I_I și I_{III} duce la concluzia că are loc un deranjament (întrerupere) în circuitul unuia dintre transformatoarele de curent. În aceste cazuri, verificarea corectitudinii conexiunilor de măsură este precedată de eliminarea deranjamentelor, adică restabilirea continuității circuitelor de curent.

5.3.2. Cazul montajului realizat cu patru conductoare

Dacă circuitele de curent, realizate cu patru fire, sînt separate (independente), puntea de pămîntare ce unește secundarele transformatoarelor de curent nu este parcursă de curenții de lucru, (v. schemele *1—8* din tabelul 5.1 coloana 3).

Dimpotrivă, în situațiile în care cele două circuite nu sînt independente, puntea de pămîntare face parte activă din circuitele de lucru și ca urmare determină circulația curenților în legăturile exterioare (v. schemele din coloanele 4, 5, 6 și 7 din tabelul 5.1.).

Pentru exemplificarea influenței punții de pămîntare, în tabelul 5.3 se prezintă o aceeași conexiune combinată în cele patru variante corespunzătoare celor patru modalități posibile de legare la pămînt :

Se poate observa că la variantele a și b din tabelul 5.3 puntea de pămîntare constituie calea de curent prin care unul din sistemele active ale aparatului de măsură este șuntat ; în bobina de curent a acestuia valoarea curentului de acționare fiind practic nul. (O astfel de imagine cu un singur fazor nu poate fi interpretată ; pentru obținerea imaginii cu doi fazori se procedează la schimbarea între ele a cîte o legătură de la cele două sisteme active și se ridică o nouă diagramă care se va putea interpreta).

Celălalt sistem activ al aparatului, respectiv bobina sa de curent este parcursă de un curent rezultant, combinație vectorială a celor doi curenți de fază debitați de cele două transformatoare de curent. Mărimea acestui curent de acționare este determinată, pe deoparte de modul cum sînt combinate circuitele, respectiv dacă cele

Tabelul 5.3

Exemplificarea efectului de șuntare a legăturii de pămîntare a transformatoarelor de curent

Tipul punții de legare la pămînt	a	b	c	d	Observații
Schema de legături a circuitelor de curent					x — Borna de intrare a bobinei de curent a contorului o — Borna de început a transformatorului de curent
Schema echivalentă					— trafo-curent, ca sursă; — bobina de curent din aparat ca receptor
Relații între curenți	$I_I \approx 0$ $I_{III} = \lambda(-I_I + I_3) \approx I_\rho$	$I_I = \lambda(I_3 - I_\rho) \approx I_\rho$ $I_{III} \approx 0$	$I_I = I_3$; $I_{III} = I_3$ $I_\rho = I_I + I_3$	$I_{III} = -I_3$; $I_{III} = -I_I$ $I_\rho = -I_I - I_3$	I_I, I_m — Curenții din bobinele sistemelor active I_ρ — Curentul prin punte
Diagrama fazorială					φ — Inductiv

două transformatoare debitează în serie sau în o poziție; pe de altă parte, de mărimile electrice ale circuitului i, compus, în care, rolul hotărîtor îl are impedanța echivalentă a celor două transformatoare. Coeficientul subunitar λ ține seamă de creșterea sarcinii secundare datorită însumării impedanțelor. Întrucît impedanțele celor două transformatoare practic sînt apropiate ca mărime, valoarea coeficientului poate fi aproximată la $\lambda \approx \frac{1}{2}$.

În variantele c și d puntea de pămîntare constituie, de asemenea, parte activă a circuitelor de curent, dar nu șuntează nici un sistem activ al aparatului conectat în aceste circuite. Diagrama fazorială a acestor variante la prima vedere, dă impresia că circuitele celor două transformatoare sînt independente. În realitate puntea de pămîntare constituie o ramură comună de închidere a căii curenților de acționare pentru ambele circuite.

Din exemplele prezentate în tabelul 5.3, se poate desprinde următoarele concluzii:

— dacă în diagrama inițială a apărut un singur fazor ($\underline{I}_I$ sau $\underline{I}_{III}$), după schimbarea între ele a cîte o legătură de la cele două bobine de curent, apariția ambilor fazori $\underline{I}_I$ și $\underline{I}_{III}$ în noua diagramă ridicată constituie dovada certă a faptului că schema inițială a fost combinată; respectiv, în conexiunea inițială a avut loc șuntarea uneia dintre cele două bobine de curent ale aparatului. Faptul că fazorii $\underline{I}_I$ și $\underline{I}_{III}$ în diagramă se suprapun numai cu pozițiile curenților $\underline{I}_1$, $\underline{I}_3$, $-\underline{I}_1$ sau $-\underline{I}_3$ (pozițiile *A*, *B*, *C* sau *D* din fig. 5.1) nu înseamnă că circuitele de curent ale celor două transformatoare sînt independente (separate); ele pot fi atît combinate cît și separate (puntea de pămîntare parcursă sau neparcursă de curenții de lucru).

Din punct de vedere practic, circulația corectă a curenților în cele două sisteme active ale aparatului conectat în circuitele combinate presupune o continuitate perfectă a legăturii de pămîntare. O eventuală slăbire a contactului micșorează efectul de șuntare, ceea ce are ca urmare

creșterea necontrolată a erorii de măsură. Întreruperea totală a legăturii de punte, în cazul acestor scheme compuse, transformă conexiunea inițială corectă (din punctul de vedere al circulației de curenți) într-una eronată cu caracter de „deranjament", fără să se poată observa apariția deranjamentului, întrucît circuitul rămîne totuși închis. Asemenea erori pot fi depistate într-o instalație aflată în funcțiune, de asemenea, numai printr-o analiză cu ajutorul diagramei fazoriale.

Aspectul practic, descris mai sus s-a prezentat exemplificativ în tabelul 5.4, în care s-au analizat schemele din rîndul *AB* al tabelului 5.1.

O imagine a diagramei fazoriale în care fazorul $\underline{I}_I$ se suprapune cu $\underline{I}_{III}$ (pe aceeași direcție și cu aceeași orientare), su în care $\underline{I}_I$ față de $\underline{I}_{III}$ este decalat cu unghiul $\psi = 180°$, indică starea combinată a circuitelor de curent cu puntea de pămîntare întreruptă (v. tabelul 5.4, ultimul rînd).

În cazurle de scheme combinate cu punte de pămîntare tip *a* sau *b* întrerupte, transformatoarele de curent debitează în ambele sisteme active ale aparatului același curent rezultat din funcționarea lor în serie, iar în cazurile de scheme combinate cu punte tip *c* sau *d* întrerupte, debitează în ambele sisteme active cîte un curent rezultat din funcționarea lor în opoziție.

Exemplul prezentat în tabelul 5.4, permite următoarele concluzii practice :

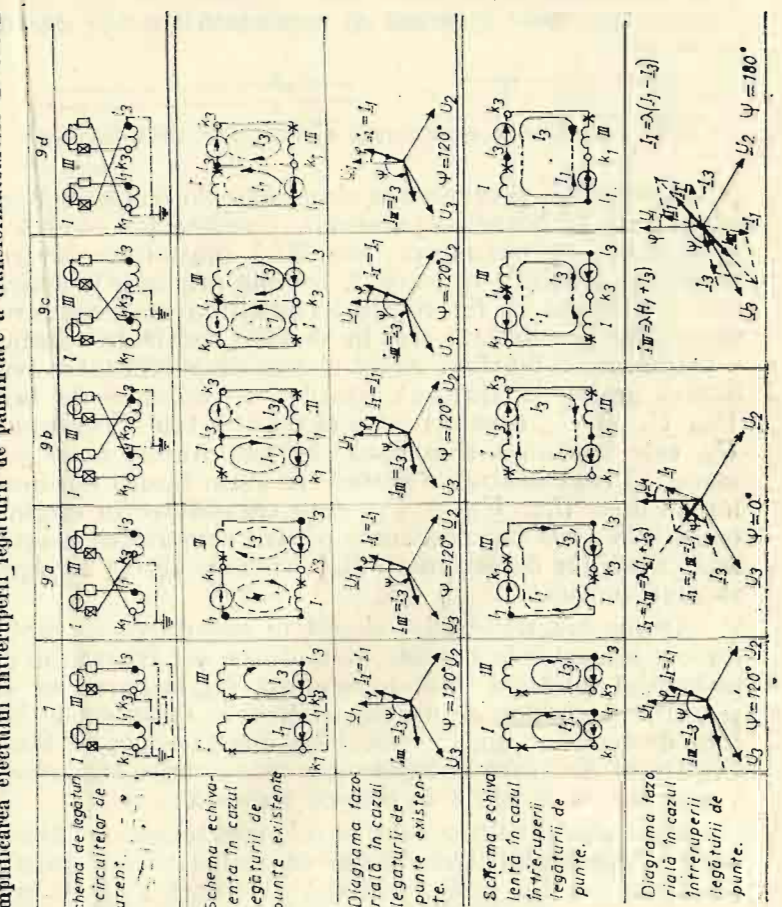
— La circuite separate, nu are nici o influență asupra circulației curenților nici tipul legăturii de pămîntare și nici existența sau lipsa ei.

— Dacă prin analiza diagramei fazoriale se depistează starea întreruptă (lipsa) a legăturii de pămîntare, obținînd imaginile vectoriale tipice arătate, se identifică cazul circuitelor de curent compuse.

— Eliminarea deranjamentului (reîntregirea punții) poate fi rezolvată prin realizarea unei legături de punte adecvată la bornele aparatului de măsură, deci fără scoaterea instalației din funcțiune. Asigurarea circulației corecte a curenților prin substituirea puntei de la secundarele transformatoarelor de curent cu puntea realizată

Tabelul 5.4

Exemplificarea efectului întreruperii legăturii de pămîntare a transformatoarelor de curent


Schema de legătură a circuitelor de curent.
Schema echivalentă în cazul legăturii de punte existentă
Diagrama fazorială în cazul legaturii de punte existente.
Schema echivalentă în cazul întreruperii legăturii de punte.
Diagrama fazorială în cazul întreruperii legăturii de punte.
ψ = 120°
ψ = 0°
ψ = 180°

la aparat nu poate fi considerată însă ca rezolvarea și a restabilirii legăturii la pămînt de protecție. Reîntregirea legăturii la pămînt de protecție, direct de la secundarele celor două transformatoare, este obligatorie și se va realiza cu instalațiile (primară și secundară) scoase de sub tensiune.

5.4. Corectarea conexiunii circuitelor de tensiune

Verificarea și ordonarea circuitelor de tensiune (dacă este cazul) la bornele aparatului, premergător efectuării măsurărilor cu wattmetru, simplifică mult interpretarea diagramei fazoriale ridicate. Tensunile ordonate la aparatul ce urmează să fie verificat constituie materializarea sistemului de referință ales în vederea construirii grafice a diagramei curenților. Acest sistem de referință se realizează grafic cu ajutorul fazorilor de tensiune de fază $\underline{U}_{10}$, $\underline{U}_{20}$ și $\underline{U}_{30}$ decalați între ei cu cîte 120°. Tensiunea $\underline{U}_{20}$ este tensiunea secundară corespunzătoare fazei primare *2*. Prin construcție grafică se obțin fazorii tensiunilor de linie $\underline{U}_{12}$, $\underline{U}_{23}$ și $\underline{U}_{31}$, care translatate în origine, constituie axele de coordonate pentru construirea diagramei curenților de acționare din sistemele active ale aparatului verificat.

Ordonarea tensiunilor constă în asigurarea secvenței directe a fazelor la bornele de tensiune ale aparatului de măsură și aplicarea fazei de referință U_{20} la borna sa de tensiune de mijloc ce unește sfîrșiturile celor două bobine de tensiune din interiorul lui. Un exemplu de identificare și ordonare a legăturilor de tensiune la bornele aparatului se prezintă în cele ce urmează:

Cu ajutorul voltmetrului se măsoară tensiunile dintre bornele aparatului, trebuind să se obțină valori egale și anume $U_{12} = U_{23} = U_{13} = 100$ V (v. fig. 5.2 *a*). Se creează o asimetrie a tensunilor prin scoaterea siguranței primare a fazei de referință *2* (cea fără transformator de curent). Cu această modificare, în circuitele primare ale grupului de măsură, punctul comun al înfășurărilor secundare ale transformatoarelor de tesiune devine punctul

median al unui divizor de tensiune, așa cum este exemplificat acest lucru în figura 5.2 *b*, unde cele două transformatoare de tensiune bifazate sînt conectate în schema „V".

Se repetă măsurile cu voltmetru, de această dată verificîndu-se locul de aplicare la aparat a fazei de referință.

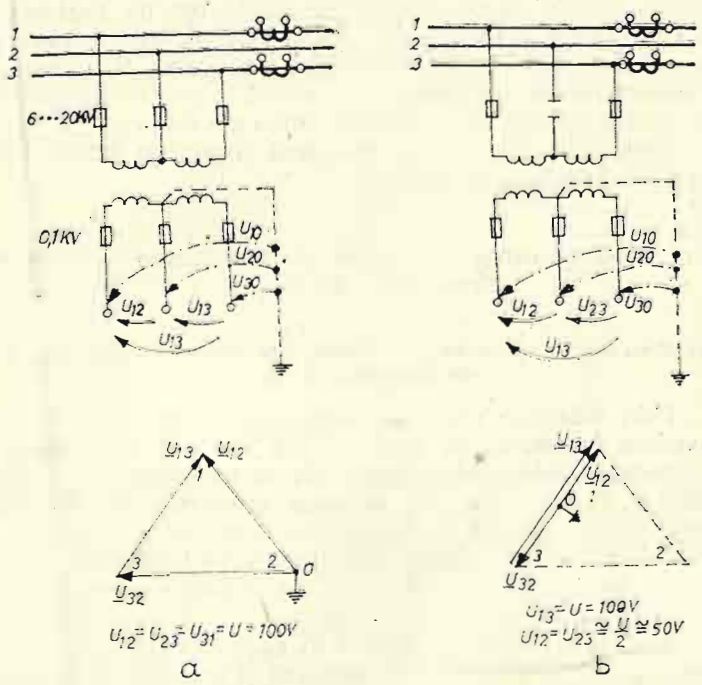


Fig. 5.2. Principiul identificării fazei de referință la bornele contorului racordat prin transformatoare de tensiune.

Borna față de care ambele tensiuni de linie rezultă ca mărime egală cu $\frac{U}{2} \approx 50$ V, în loc de 100 V, corespunde punctului median, respectiv fazei de refeință (întreruptă la partea primară prin scoaterea siguranței). Această bornă, după cum s-a arătat, trebuie să fie cea de tensiune de mijloc al aparatului conectat.

Dacă nu se va găsi la mijloc, se vor muta legăturile de tensiune astfel încît tensiunea punctului median (a fazei de referință) să se găsească la borna de tensiune de mijloc al aparatului.

Ordonarea celorlalte două faze, pentru asigurarea secvenței directe la aparat, după verificarea cu indicatorul de succesiune a fazelor, se poate realiza fără intervenții în instalația primară, efectuînd manevre de scoatere și reintroducere a siguranțelor numai la partea secundară, dacă este necesar să se schimbe între ele cele două legături extreme. Exemplul poate fi aplicat și pentru transformatorul de tensiune trifazat.

5.5. Reconstituirea schemei și corectarea legăturilor circuitelor de curent

5.5.1 Identificarea curenților ce acționează în sistemele active *I* și *III* ale aparatului verificat

Prin măsurile cu wattmetru (v. § 3.2.3) se obține diagrama fazorială, în care cei doi curenți de acționare în sistemele active ale aparatului se prezintă sub forma fazorilor $\underline{I}_I$ și $\underline{I}_{III}$. În vederea reconstituirii schemei circuitelor de curent și corectarea eventualelor erori (greșeli) de conectare este necesar ca să se identifice acești curenți de acționare în funcție de curenții secundari de fază $\underline{I}_1$ și $\underline{I}_3$.

— Într-o situație practică în care se cunoaște caracterul sarcinei din instalația primară și ordinea de mărime a defazajului φ, prin transpunerea fazorilor curenților de fază $\underline{I}_1$ și $\underline{I}_3$ în diagrama ridicată, se pot determina corelațiile existente între curenții de acționare și curenții de fază, exprimabile potrivit relațiilor (5.1), prin citirea directă din diagramă.

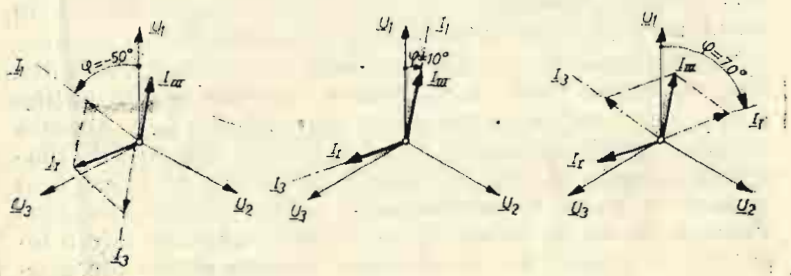
Se reamintește că, pozițiile posibile ale fazorilor curenților de acționare sînt cele arătate în fig. 5.1, de unde rezultă următoarele constatări, care ne ajută la interpretarea diagramei fazoriale obținute :

— cel puțin unul din fazorii de acționare ($\underline{I}_I$ și $\underline{I}_{III}$) se suprapune cu direcția unuia din fazorii curenților de

fază în toate cazurile : acest fazor, obținut prin ridicarea diagramei, reprezintă chiar curentul de fază respectiv, cu semnul + sau — după caz ;

— dacă fazorul curentului de acționare din diagrama ridicată se găsește pe bisectoarea unghiului format de fazorii curenților de fază, aceștia din urmă constituie componentele fazorului curentului respectiv de acționare.

În figura 5.3 se dă un exemplu de identificare a combinațiilor geometrice pentru o imagine dată a cuplului



$\underline{I}_I$	$\underline{I}_1 + \underline{I}_3$	$\underline{I}_3$	$-\underline{I}_1$
$\underline{I}_{III}$	$-\underline{I}_3$	$\underline{I}_1$	$\underline{I}_1 + \underline{I}_3$
Indicatrul combinației	ED	BA	CE

Fig. 5.3. Exemple de identificare a componentelor curenților de acționare din bobinele de curent ale aparatului verificat.

de fazori $\underline{I}_I$ și $\underline{I}_{III}$. Se subliniază aspectul special, potrivit căruia aceeași imagine a cuplului fazorului $\underline{I}_I$ și $\underline{I}_{III}$, în funcție de valoarea defazajului φ, poate caracteriza trei combinații vectoriale diferite, cu cele trei variante de scheme ale conexiunilor posibile aferente circuitelor de curent. În exemplul dat în figura 5.3 diagrama curenților de acționare poate corespunde variantelor de conexiune *ED*, *BA* și *CE*, după cum defazajul φ are valorile $-50°$; $+10°$ și $+70°$, cele trei valori diferind cu cîte 60°. De notat că asemenea diagrame fazoriale, ce pot caracteriza simultan trei variante de conexiuni, pot apărea, numai la circuitele de curent în montaj cu trei fire.

În cazul circuitelor de curent în montaj cu patru fire, la fiecare variantă de conexiune posibilă, în care la ridicarea diagramei apar ambii fazori $\underline{I}_I$ și $\underline{I}_{III}$, în cele două sisteme active ale aparatului, întotodeauna acționează cîte un curent de fază secundar, fie în sens pozitiv, fie în sens negativ. Deci, cu alte cuvinte în cazul variantelor de conexiuni *AB*, *AD*, *CB*, *CD*, *BA*, *BC*, *DA* și *DC* (v. tabelul 5.1.) curenții de acționare sînt curenți de fază. Datorită acestui fapt, interpretarea diagramei pentru identificarea curenților de acționare este mai simplă în cazul acestui sistem de montaj cu patru fire.

Se reamintește că, la sistemele de montaj cu patru fire, cu ocazia ridicării diagramei fazoriale putem obține o imagine în care apare un singur fazor ($\underline{I}_I$ sau $\underline{I}_{III}$). Această imagine nedeterminabilă se înlocuiește cu o altă diagramă ridicată în care vor apărea ambii fazori ($\underline{I}_I$ și $\underline{I}_{III}$) și care va putea fi interpretată; noua ridicare efectuîndu-se după ce, în prealabil, se schimbă între ele cîte o legătură de curent de la cele două sisteme active ale aparatului verificat.

— În situația practică în care unghiul de defazaj φ nu este cunoscut, pentru identificarea curenților de acționare, pe lîngă informațiile electrotehnice specifice, pe care le oferă diagrama fazorială, se vor mai lua în considerare și elementele sale geometrice precum și elementele concrete de montaj identificabile ale circuitelor de curent analizate.

5.5.2. Reconstituirea schemei conexiunilor circuitelor de curent

O dată identificată compunerea curenților de acționare, legăturile ascunse ale circuitelor de curent pot fi definite prin schema conexiunii lor reprodusă în mod indirect, deci fără scoaterea instalației de sub tensiune.
Reconstituirea schemei circuitelor existente poate fi rezolvată atît prin reproducerea ei pas cu pas cît și cu ajutorul tabelelor 5.1 și 5.2 după caz.

Reproducerea schemei pas cu pas constă în determinarea circulației curenților de fază I_1 și I_3, extrapolînd

căile lor de închidere între transformatoarele de curent și bornele bobinelor de curent ale aparatului verificat, conform combinațiilor vectoriale stabilite. În acest scop se vor respecta următoarele convenții de sens:

— Curentului de fază secundar ce iese din prima bornă a înfășurării secundare a transformatorului de curent (din spre sursă), respectiv ce se întoarce la borna de sfîrșit (spre consumatori) i se atribuie sensul pozitiv (+);

— la nivelul bornelor aparatului verificat, semnul pozitiv se atribuie curentului care intră la borna de început și iese prin borna de sfîrșit a bobinei de curent, iar celui care circulă în sens contrar se atribuie semnul negativ.

Figura 5.4. exemplifică procedeul de reconstituire pas cu pas a schemei circuitelor de curent realizate în montaj cu trei fire, pentru care curenții de acționare au fost identificați ca fiind:

$$\underline{I}_I = -\underline{I}_1 + \underline{I}_3 \quad \text{și} \quad \underline{I}_{III} = -\underline{I}_1$$

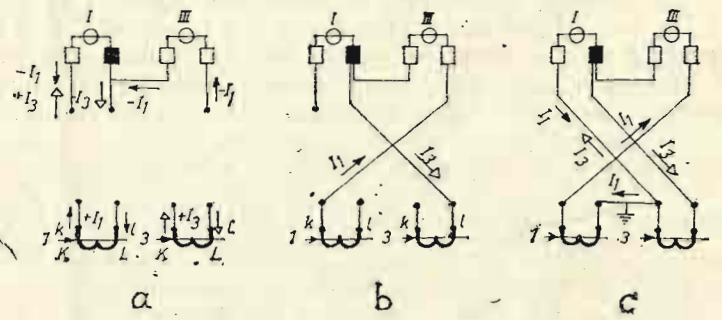


Fig. 5.4. Exemplu de reconstituire pas cu pas a circitelor de curent la o schemă de conexiune cu trei fire.

La procedeul exemplificat s-au parcurs următoarele faze de lucru:

a) S-a prezentat schematic situația legăturilor la bornele aparatului (constatat prin observare vizuală, după

ce s-a demontat capacul de borne) și s-au simbolizat curenții de fază cu sensul lor (în sistemul I, la borna de început curentul $-\underline{I}_1$ iese iar curentul $\underline{I}_3$ intră; la sistemul *III* curentul $-\underline{I}_1$ iese la borna de început a bobinei de curent).

b) S-au unit bornele aparatului, în care intră sau iese cîte un singur curent de fază, cu secundarele corespunzătoare ale transformatoarelor de curent respectînd semnele componentelor curenților din sistemele active.

c) S-a completat ultima legătură rămasă deschisă, care nu poate fi alta decît cea care închide circuitele, adică legătura ce unește începutul bobinei de curent din sistemul activ *I*, cu sfîrșitul transformatorului de curent de pe faza *1* și începutul transformatorului de pe faza *3*.

Din exemplul prezentat rezultă că, la circuitele de curent în montaj cu trei fire, prin identificarea căilor de curent se reproduce în mod univoc schema de conexiune a legăturilor ascunse.

Același rezultat se va obține cu ajutorul tabelului 5.2, procedînd în felul următor:

Expresiile curenților de acționare $\underline{I}_I = -\underline{I}_1 + \underline{I}_3$ și $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_1$ se caută în coloana 2 a tabelului 5.2 și se vor găsi în rîndul simbolizat cu *GC*. În același rînd *GC*, în coloana 5 se va identifica schema circuitelor de curent căutată, respectiv cea care corespunde tipului de punte 3 (sfîrșitul bobinei de curent *I* unit cu începutul bobinei sistemului *III*) constatată vizual la bornele aparatului.

În cazul circuitelor de curent realizate cu patru fire de legătură, procedeul de identificare pas cu pas, de asemenea, duce la determinarea închiderii circuitelor între bobinele de curent ale aparatului și transformatoarele de curent corespunzător circulațiilor curenților de fază prin care s-au definit curenții de acționare din sistemele active ale aparatului verificat. Spre deosebire de sistemul de montaj cu trei fire, în cazul circuitelor de curent în sistem de montaj cu patru fire, prin determinarea circulațiilor curenților de fază, nu se determină în mod univoc schema conexiunii legăturilor exterioare. Acest aspect al problemei se poate constata și înțelege analizînd tabelul 5.1, în care lipsind elementul de referință accesibil observării

vizuale (nu are punte la aparat), în rîndul în care s-au identificat expresiile curenților de acționare dați, dintre cele opt scheme de conexiune posibile nu poate fi identificată cea reală concretă.

De exemplu, dați fiind curenții de acționare ca fiind definiți astfel: $\underline{I}_I = \underline{I}_1$ și $\underline{I}_{III} = -\underline{I}_3$, cazul se încadrează în tabelul 5.1 la rîndul *AD* și corespunde oricărei scheme din acel rînd (puntea de pămîntare nu este cunoscută). Prin urmare circulația curenților de fază $\underline{I}_1$ în sistemul *I* și $-\underline{I}_3$ în sistemul *III* poate avea loc atît prin oricare din familia de scheme separate care diferă între ele numai prin tipul de punte de pămîntare (*a*, *b*, *c* sau *d*), cît și prin oricare din familia de scheme compuse (*10a*, *10b*, *10c*, și *10d*) diferind între ele atît ca și conexiune a legăturilor cît și prin puntea de pămîntare. Din punct de vedere al scopului final, respectiv a corectării eventualei circulații eronate a curenților de fază prin sistemele aparatului verificat, faptul că nu s-a putut concretiza varianta reală din rîndul identificat, nu constituie nici un impediment precum s-a arătat acest lucru la § 5.2.1.

5.5.3. Modificarea legăturilor pentru corectarea circulației curenților în sistemele active ale aparatului conectat

După ce s-a reconstituit schema conexiunii verificate, prin comparație cu schema teoretică, se poate constata starea ei eronată și în plus, ceea ce este mai important, se pot identifica concret legăturile greșite.

Legăturile greșite fiind identificate, acest prim pas îi permite verificatorului să stabilească acele modificări (mutări) de legături la bornele aparatului verificat, prin care se restabilește circulația corectă a curenților de fază prin sistemele active ale acestui aparat.

Figura 5.5 exemplifică modul de stabilire a modificărilor de legături necesare pentru corectarea conexiunii depistate ca fiind eronată.

În exemplul prezentat, puntea la aparat corespunde cu puntea de pămîntare de la secundarele transformatoa-

relor de curent. În acest caz sînt necesare numai următoarele modificări de legături:

— legătura eliberată din borna M se va muta la borna P, operațiunea simbolizîndu-se prescurtat: $M \rightarrow P$;

— legătura de la borna R se mută la borna M, $(R \rightarrow MM)$; și

— legătura de la borna N se mută la borna R, $(N \rightarrow R)$

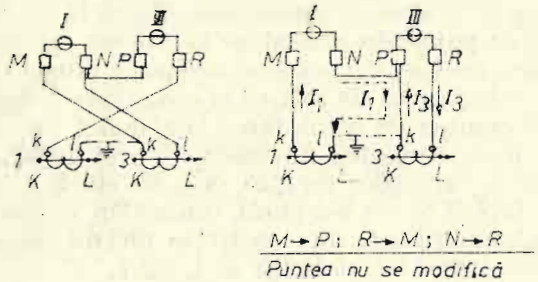


Fig. 5.5. Determinarea modificărilor de legături, la bornele aparatului verificat, pentru perfectarea circuitelor la curent conform schemei corecte.

Corectarea circuitelor, prin modificarea legăturilor numai la bornele aparatului (oricînd accesibile), se poate rezolva și în cazul cînd în schema reprodusă se va constata, față de puntea de la aparat, o punte diferită la secundarele transformatoarelor. Se va păstra starea punții de la transformatoare (inaccesibilă) și se modifică puntea de la bornele aparatului, după cum se impune.

Se înțelege că operațiunile de dezlegare și relegare a conductoarelor făcîndu-se cu instalația aflată sub tensiune, pentru menținerea circuitelor de curent în stare închisă permanentă, se impune șuntarea circuitelor secundare ale transformatoarelor de curent în prealabil începerii modificărilor de legături. Bineînțeles, personalul executant efectuează lucrările cu respectarea măsurilor de protecție a muncii prescrisă pentru lucrul sub tensiune.

Prin analiza noii diagrame ridicate după efectuarea legăturilor de corectare, dacă s-a lucrat cu atenție, se va obține drept confirmare a obținerii schemei corecte a conexiunilor (a circulației corecte a curenților de fază în sistemele aparatului verificat), expresiile vectoriale așteptate:

$$\underline{I}_I = \underline{I}_1 \text{ și } \underline{I}_{III} = \underline{I}_3$$

Operațiile de verificare — reconstituire — corectare a instalației se succed într-o ordine logică, iar rezultatele constatate după fiecare fază de lucru se consemnează într-o fișă de verificare concepută în acest scop, conform modelului dat în tabelul 5.5.

Tabelul 5.5

FIŞA DE VERIFICARE

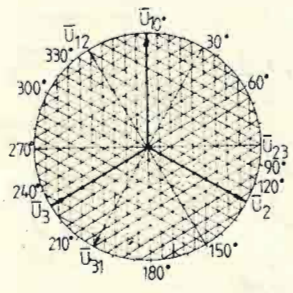
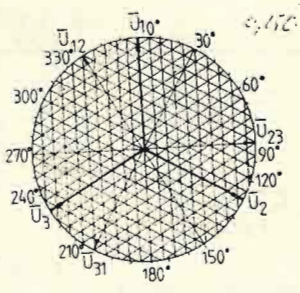
pentru aparat cu 2 sisteme active

Punctul de măsurare..... **Aparatul** ..... **Seria**.....

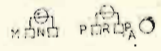
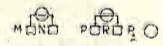
		..... activ	.....reactiv	Transformator de curent	Transformator de tensiune	
Caracteristicile grupului de măsură	Tipul					Ka =
	Seria					
	Raport de curent				X	
	Rap. de tensiune			X		Kr =
	Constanta inter.			X	X	

Situaţia tensiunilor la bornele aparatul verificat	Măsurări de tensiune şi sens	U_{12}	U_{23}	U_{31}	Concluzia	Măsuri luate
	Simetria					
	Faza de referinţă aplicată la :					
	Succesiunea fazelor					
Durata blocării grupului	De la ora		la ora		Durata	

Tabelul 5.5 (continuare)

Rezultatele măsurătorilor cu wattmetru	Prima măsurare				A doua măsurare			
	Echipajul	Coordonatele pe direcţia tensiunilor			Echipajul	Coordonatele pe direcţia tensiunii		
		U_{12}	U_{23}	U_{31}		U_{12}	U_{23}	U_{31}
	I				I			
	III				III			
Diagrama vectorială a curenţilor de acţionare în aparat								

Tabelul 5.5 (continuare)

1) Montaj cu ..... fire p_A .....O.....	I_I = | 8 | I_{III} = | 9	P_A O	$I_I = I_1$ | $I_{III} = I_3$
2) Unghiul de poziţie al I_I α = ...	13 | Graful legăturilor reconstituite	$\alpha = \varphi$	15 | Graful schemei corectate
3) Decalajului I_{III} faţă I_I ψ = ...		$\psi = 120°$	
4) Raportul modulelor $\frac{I_I}{I_{III}}$ = ...		$\frac{I_I}{I_{III}} = 1$	
5) Scalele φ posibile: ..... ; ..... ;		Scala : φ_1	
6) Culorile scalelor φ: ..... ; ..... ;		Culoare : N	
7) Valorile defazejelor: ..... ; ..... ;		Valoarea φ =	

10) Criterii pentru selectarea cazului real
10.1. Informaţii din instalaţii (caracter .....) $\varphi \cong$ .....
10.2. Raportul modulelor fazorilor I_I/I_{III} : .....
10.3. Măsurări Δu (Metoda potenţialelor) : .....

11) Legăturile dintre bornele aparatului şi transformatorilor de curent indicate de motrice a riglei avînd indcative $p_A = O$;
φ ..... ; punctele ..... :
(.....)

12) Legătura de punte la T.C. (.....)

14) Modificările necesare ale legăturilor la bornele aparatului pentru corectura schemei

Data .....

Semnătura .....

6. Aspecte tehnico-economice

Asigurarea funcţionării corecte a aparatelor de măsură, atît din punct de vedere al reglării şi etalonării lor cît şi în privinţa conectării în circuitele secundare ale instalaţiei (grupului) de măsură constituie o problemă tehnico-economică importantă.

Exploatarea raţională şi menţinerea condiţiilor de siguranţă a reţelelor electroenergetice este strins legată de urmărirea riguroasă şi permanentă, cu ajutorul aparatelor de măsură, a circulaţiilor de putere, a regimurilor de încărcare atît în sistemul de transport şi distribuţie cît şi în instalaţiile de utilizare a energiei electrice de la consumatori. În cazul consumatorilor, are o deosebită importanţă economică decontarea corectă, precum şi urmărirea pe această bază a consumului specific de energie electrică pe produse, în vederea reducerii sau cel puţin menţinerii lui în limitele normate.

În reţeaua de transport şi distribuţie, urmărirea şi reducerea consumului propriu tehnologic (pierderi tehnologice) de energie electrică trebuie să constituie o preocupare permanentă şi susţinută a energeticienilor. Eliberarea şi utilizarea în scopuri productive a unei părţi cît mai mari din consumul propriu tehnologic pentru producere, transport şi distribuţie a energiei electrice îşi găseşte importanţa economică în faptul că într-un sistem energetic naţional acest consum propriu tehnologic fiind de ordinul citorva milioane megawaţi oră pe an, constituie o resursă existentă însemnată pentru care nu se necesită nici centrale electrice noi şi nici combustibil suplimentar.

Măsurile tehnice și organizatorice întreprinse pentru reducerea consumului propriu tehnologic, cît și a consumurilor specifice pe produse și valorificarea eficientă a energiei electrice astfel disponibilizate, se sprijină pe informațiile dobîndite cu ajutorul aparatelor de măsură. De aici rezultă importanța utilizării corecte a acestor aparate.

Practica demonstrează că probabilitatea de a comite erori de conexiune nu poate fi neglijată, atît datorită multiplelor posibilități prin care circuitele se pot închide, cît și datorită frecvenței ridicate de intervenție în circuitele secundare ale instalațiilor de măsură (punere în funcțiune, schimbare periodică pentru verificări de laborator, schimbare incidentală a aparatelor de măsură sau chiar a transformatoarelor de măsură în cazuri de defectări ce apar în timpul exploatării). Multitudinea variantelor de conexiuni realizabile, poate fi constatată în tabelul 2.2 (v. subcap. 2.1.). În acest tabel sînt prezentate circuitele trifazate de măsură în care fiind racordate cîte un contor de energie electrică activă (CA—43; respectiv CA—32), în funcție de ipoteze de identificare a legăturilor exterioare și de tipul de montaj al circuitelor de curent este prezentat numărul variantelor de conexiuni posibile.

Din cele arătate mai sus rezultă că, montarea corectă a aparatelor de măsură este o chestiune economică importantă, rezolvarea căreia în mod corespunzător, necesită aplicarea consecventă a unei metode preventive de verificare și atestare.

6.1. Determinarea coeficientului de corecție

La subcapitolul 2.2, s-a arătat consecințele funcționării aparatelor de măsură cu conexiuni eronate. Eroarea de măsurare o dată constatată, urmează să fie corectată, înțelegînd prin aceasta, în afara eliminării erorii depistate din schema conexiunii și recalcularea cantității de energie electrică înregistrată eronat de contorul respectiv, pentru întreaga durată de timp în care a funcționat eronat.

În cazul contorului trifazat cu două sisteme active, de exemplu, în acest scop este necesar ca să se identifice varianta de conexiune eronată cu care a funcționat, expresiile vectoriale ale curenților de acționare din sistemele active ale aparatului $\underline{I}_I$ și $\underline{I}_{III}$ în funcție de fazorii $\underline{I}_1$ și $\underline{I}_3$, valoarea defazajului φ, precum și durata funcționării eronate. Determinarea unora din aceste elemente, necesare exprimării coeficientului de corecție, se face cu ajutorul diagramei fazoriale ca și la depistarea erorii de legătură din circuitele de măsură. În acest scop, se vor lua în considerare erorile din circuitele de curent cît și din cele de tensiune, astfel cum acestea au fost constatate la verificare-depistare.

6.1.1 Exemplificarea determinării coeficientului de corecție pentru contorul trifazat de energie electrică activă cu două sisteme de măsură (CA—32)

Datele problemei

Pentru simplificarea problemei, se consideră că circuitele de tensiune sînt conectate corect (fazele sînt ordonate în succesiunea directă R, S, T la bornele de tensiune *1*, *2*, *3* ale apartului, iar faza de referință S este racordată la borna *2*):

— Circuitele de curent sînt realizate din trei legături și punte la contor de tipul ① (MP);

— Diagrma fazorială ridicată este cea din fig. 6.1.

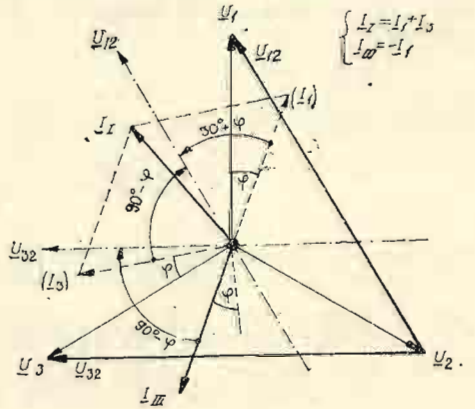


Fig. 6.1. Diagrama fazorială la un contor trifazat de energie activă, pentru determinarea expresiei coeficientului de corecție K_A.

— Sarcina este inductivă, defazajul momentan avînd valoarea $\varphi = +35°$;

— Defazajul fiind cunoscut, din diagrama fazorială (fig. 6.1) conform regulii paralelogramului, se deduc expresiile vectoriale ale curenților de acționare și anume:

$$\underline{I}_I = \underline{I}_1 + \underline{I}_3 \text{ și respectiv } \underline{I}_{III} = -\underline{I}_1$$

— Tensiunile de fază fiind aplicate corect la bornele contorului, în fig. 6.1 pot fi reprezentate prin fazorii $\underline{U}_{13}$ și respectiv $\underline{U}_{32}$ tensiunile de linie la care sînt supuse cele două bobine din contor.

Determinarea expresiei puterii momentane trifazate, măsurate eronat de contor:

Conform relației (3.12) cunoscute, expresia puterii trifazate este

$$P_e^{(3)} = P_I^{(12)} + P_{III}^{(32)},$$

în care indicele 1 și 3 proprii fazorialor $\underline{I}_1$ și $\underline{I}_3$ (din cazul conexiunii corecte), sînt înlocuite cu indicele *I* și *III* ale curenților de acționare din echipajele contorului astfel numerotate.

Proiectînd fazorii de curenți pe direcțiile tensiunilor de linie pentru fiecare sistem activ al controlului, în parte, așa cum rezultă acest lucru din diagramă, se obțin expresiile:

$$P_I^{(12)} = U_{12}\, I_I \cos\left(\widehat{\underline{U}_{12}, \underline{I}_I}\right) = U_{12}\,[I_1 \cos(30° + \varphi_1) + I_3 \cos(90° - \varphi_3)] \quad (6.1)$$

$$P_{III}^{(32)} = U_{32}\, I_{III} \cos\left(\widehat{\underline{U}_{32}, \underline{I}_{III}}\right) = U_{32} I_1 \cos(90° - \varphi_1) \quad (6.2)$$

$$P_I^{(12)} + P_{III}^{(32)} = P_e^{(3)} = U_{12}\,[I_1 \cos(30° + \varphi_1) + I_3 \cos(90 - \varphi_3)] + U_{32}\, I_1 \cos(90 - \varphi_1) \quad (6.3)$$

Considerînd sarcinile echilibrate și tensiunile simetrice respectiv, existînd egalitățile:

$U_{12} = U_{32} = U_l$; $I_1 = I_3 = I_f$ și $\varphi_1 = \varphi_3 = \varphi$, se poate scrie $P_e^{(3)} = U_l\, I_f\,[\cos(30° + \varphi) + 2\cos(90° - \varphi)] =$

$= U_l\, I_f (\cos 30° \cos\varphi - \sin 30° \sin\varphi + 2\cos 90° \cdot \cos\varphi +$

$2 \sin 90° \sin\varphi) = U_l \cdot I_f \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\varphi - \frac{1}{2}\sin\varphi + 0.\cos\varphi + \right.$

$\left. + 1.\ \sin\varphi + 0 \cdot \cos\varphi + 1 \cdot \sin\varphi\right)$;

$$P_e^{(3)} = U_l\, I_f \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\varphi + \frac{3}{2}\sin\varphi\right) \quad (6.4)$$

Expresia puterii trifazate reale, conform definiției cunoscute, este conform relației (6.5):

$$P^{(3)} = \sqrt{3}\, U_l\, I_f \cos\varphi \quad (6.5)$$

Pentru aflarea expresiei coeficientului de corecție, pentru cazul considerat, potrivit definirii acestui coeficient prin relația (2.7), se raportează expresia puterii reale (6.5) la expresia puterii eronat măsurate (6.4):

$$K_{A(EC)} = \frac{P^{(3)}}{P_e^{(3)}} = \frac{\sqrt{3}\, U_l\, I_f \cos\varphi}{U_l\, I_f \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\cos\varphi + \frac{3}{2}\sin\varphi\right)} = \frac{2}{1 + \sqrt{3}\,\mathrm{tg}\varphi} \quad (6.6)$$

6.1.2. Exemplificarea determinării coeficientului de corecție pentru contorul trifazat de energie reactivă cu două sisteme de măsură (CR—32)

Considerînd cazul aceleiași instalații de măsură ce funcționează eronat după varianta de conexiune EC ca și la § 6.1.1., datele problemei rămîn la fel.

Potrivit celor arătate la § 3.1.2., prin construcția internă a contorului CR-32, bobinele de tensiune sînt supuse tensiunilor de fază $\underline{U}_{03}$ în sistemul activ I și respectiv $\underline{U}_{10}$ în sistemul activ III al contorului.
Ținînd seamă de aceste tensiuni de fază, evidențiate și prin diagrama fazorială din fig. 6.2 expresia puterii reac-

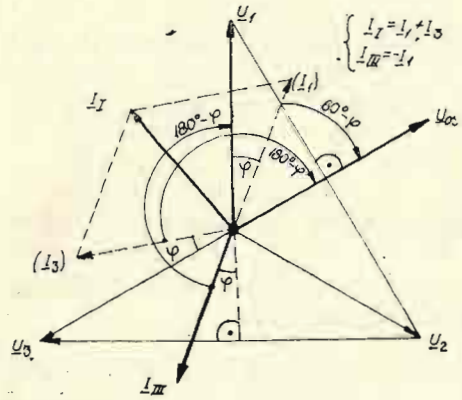


Fig. 6.2. Diagrama fazorială la un contor trifazat de energie reactivă pentru determinarea expresiei coeficientului de corecție K_R.

tive trifazate măsurate eronat se deduce din aceasta procedînd la proiectarea curenților de acționare din diagramă pe direcțiile tensiunilor respective :

$$Q'_I = U_{03}\, I_I \cos\,(\widehat{\underline{U}_{03},\ \underline{I}_I}) = U_{30}\,[I_1 \cdot \cos\,(60° - \varphi_1) + I_3 \cos\,(180° - \varphi_3)], \qquad (6.7)$$

$$Q'_{III} = U_{10} \cdot I_{III} \cos\,(\widehat{\underline{U}_{10},\ \underline{I}_{III}}) = U_{10}\, I_1 \cos\,(180° - \varphi_1), \qquad (6.8)$$

Similar cu relația (3.18), expresia puterii reactive totale trifazate, măsurată de contorul CR—32 conectat eronat (în serie cu contorul CA—32), rezultă astfel :

$$Q_e^{(3)} = \sqrt{3}\,(Q''_I + Q''_{III}) = \sqrt{3}\,\{U_{30}[I_1 \cos\,(60° - \varphi_1) + I_3 \cos\,(180° - \varphi_3) + U_{10} I_1 \cos\,(180° - \varphi_1)\} \qquad (6.9)$$

Sarcina echilibrată și tensiunile simetrice permit scrierea egalităților :

$$U_{10} = U_{30} = U_f,$$

$$I_1 = I_3 = I_f,$$

$$\varphi_1 = \varphi_3 = \varphi,$$

și luînd în considerare corelația dinre tensiunea de fază și cea de linie cunoscută și anume $\sqrt{3}\,U_f = U_l$, atunci puterea reactivă măsurată eronat va avea expresia ce rezultă după cum urmează :

$$Q_e^{(3)} = \sqrt{3}\,U_f I_f[\cos\,(60° - \varphi) + \cos\,(180° - \varphi) + \cos\,(180° - \varphi)] = \sqrt{3}\,U_f I_f\,[\cos\,(60° - \varphi) + 2\,\cos\,(180° - \varphi)] =$$

$$= \sqrt{3}\,U_f I_f \cos 60° \cos\varphi + \sin 60° \sin\varphi + 2\,(\cos 180° \cdot \cos\varphi + \sin 180° \cdot \sin\varphi)] =$$

$$= \sqrt{3}\,U_f\,I_f\left[\frac{1}{2}\cos\varphi + \frac{\sqrt{3}}{2}\sin\varphi + 2\,(-1 \cdot \cos\varphi)\right] =$$

$$= U_l\,I_f\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\sin\varphi - \frac{3}{2}\cos\varphi\right) \qquad (6.10)$$

Expresia puterii reactive trifazate reale fiind conform definiției : $Q^{(3)} = \sqrt{3}\,U_l\,I_f \sin\varphi$, coeficientul de corecție $K_R\,(CE)$ se va obține prin raportarea expresiei puterii reactive reale la expresia puterii reactive măsurate eronat :

$$K_{R(CE)} = \frac{Q^{(3)}}{Q_e^{(3)}} = \frac{3\,U_l\,I_f \sin\varphi}{U_l I_f\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\sin\varphi - \frac{3}{2}\cos\varphi\right)} =$$

$$= \frac{2\,\mathrm{tg}\,\varphi}{\mathrm{tg}\,\varphi - \sqrt{3}} \qquad (6.11)$$

6.1.3. Coeficienții de corecție în diferite variante de funcționare

Similar exemplificărilor prezentate mai sus, s-au determinat expresiile coeficienților de corecție K_A și K_R pentru toate diagramele fazoriale caracteristice cuprinse în tabelele 5.1 și 5.2 deci pentru toate cazurile posibile de conectare a circuitelor de curent, în ipoteza circuitelor de tensiune ordonate corect la bornele contoarelor de energie activă și de energie reactivă trifazate de tipurile CA-32 și CR-32.

Considerînd coeficienții de corecție determinați, drept caracteristici specifici de funcționare, în baza lor s-a constituit „Tabloul sistematic al variantelor de funcționare a contoarelor electrice CA-32 și CR-32", cu circuitele de tensiune corecte, prezentat în tabelul 6.1 Acest tablou sistematic cuprinde toți coeficienții de corecție $K_{A(j)}$ și $K_{R(j)}$ (v. coloanele 13 și 14), prin indicele (j) notîndu-se numărul de ordine (rîndul din tablou) al variantei de funcționare.

În fiecare rînd ($j = 1 \ldots 36$) se poate identifica diagrama fazorială specifică aferentă variantei de funcționare, sau diagramele fazoriale specifice aferente pentru cazurile cînd două sau trei diagrame specifice distincte au coeficientul de corecție comun. Diagrama specifică se identifică prin simbolul ei (două litere majuscule) și prin expresiile vectoriale în funcție de fazorii $\underline{I}_1$ și $\underline{I}_3$ ale fazorilor curenților de acționare din contor $\underline{I}_1$ și respectiv $\underline{I}_{III}$. Se mai precizează că în rîndul întîi ($j = 1$) se găsește varianta de funcționare corespunzătoare conexiunii corecte a circuitelor de curent.

Dacă din tabelele 5.1 și 5.2 resiese că atît la montaje cu patru fire cît și la montaje cu trei fire ale circuitelor de curent sînt cîte 96 variante de conexiune, adică în total 192 scheme diferite posibile, din tabelul 6.1 se va constata că acestea se grupează după un total de 48 diagrame fazoriale caracteristice distincte și respectiv într-un total de 36 variante de funcționare, caracterizate de coeficienții de corecție diferiți :

Tabloul sistematic al variantelor de funcționare, prin observarea coeficienților de corecție K_{Aj} și K_{Rj}, ne per-

mite să constatăm unele proprietăți comune și altele particulare ce caracterizează variantele de funcționare :

— Variantele de funcționare (j) *1* și *3* corespund schemelor de conexiune corecte ale circuitelor de curent și anume varianta *1* ($K_{A1} = 1 =$ constant pentru toate valorile defazajului φ, ca și $K_{R1} = 1 =$ constant) reprezintă montajul corect pentru măsurarea energiei vehiculate de la furnizor spre consumator (livrare) ; iar varianta *3* ($K_{A3} = -1$ și $K_{R3} = -1$) reprezintă montajul corect pentru măsurarea energiei electrice transmise de la consumator spre sistemul electroenergetic (primire). Spre exemplu, un caz practic care corespunde variantei de funcționare 3 este acea situație în care întreprinderea consumatoare de energie electrică avînd și centrală electrică proprie, în anumite perioade, debitează energia electrică excedentară spre sistem. Măsurarea corectă a energiei electrice debitate spre sistem se va face prin montaj conform variantei de funcționare $j = 3$, bineînțeles cu mersul înapoi împiedicat al echipajului mobil al contorului respectiv.

În asemenea puncte de schimb de energie electrică, care se mai întîlnește frecvent, mai ales în nodurile sistemului electroenergetic, unde în liniile electrice pot alterna sensurile de vehiculare a energiei electrice în decursul timpului de funcționare, se instalează atît contoare de energie activă cît și de energie reactivă în ambele variante de funcționare ($j = 1$ și $j = 3$), deci cîte două din fiecare fel de contor, bineînțeles, fiecare va avea mersul înapoi împiedicat, (v. schema din fig. 1.8.).

— La un număr de șase variante de funcționare cronate ($j = 2, 3, 9, 11, 14$ și 16) nu se pot determina coeficienții de corecție, constituind cazuri de nedeterminare. Aparatul conectat în aceste variante de funcționare nu înregistrează nimic, cuplul de rotire total rezultă nul, deși bobinele de curent sînt parcurse de curenții secundari, deoarece cuplurile parțiale se anulează reciproc, indiferent de valoarea defazajului φ_1. În aceste șase cazuri, echipamentul rotitor al contorului stagnează sau oscilează. Proprietatea comună a variantelor de funcționare menționate mai sus constă în faptul că funcțio-

Tabloul sistematic al variantelor de funcționare ale contoarelor elec-

Nr. variantei de funcționare j	Circuite secundare								
	în montaj cu 4 fire						în montaj		
	Cu punte la T.C. de tip *a* sau *b*			Cu punte la T.c de tip c sau d			Cu punte la T.c de tip a sau b		
	Simbolul imaginii vectoriale	Curenții de acționare		Simbolul imaginii vectoriale	Curenții de acționare		Simbolul imaginii vectoriale	Curenții de acționare	
		$\underline{I}_I$	$\underline{I}_{III}$		$\underline{I}_I$	$\underline{I}_{III}$		$\underline{I}_I$	$\underline{I}_{III}$
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Circuite de curent separate sau compuse								
livrează	AB	$\underline{I}_1$	$\underline{I}_3$	AB	$\underline{I}_1$	$\underline{I}_3$	AB	I_1	I_3
2	BA	$\underline{I}_3$	$\underline{I}_3$	BA	$\underline{I}_3$	$\underline{I}_1$	BA	I_3	I_1
3	CD	$-\underline{I}_1$	$-\underline{I}_3$	CD	$-\underline{I}_1$	$-\underline{I}_3$	CD	$-I_1$	$-I_3$
primește									
4	DC	$-\underline{I}_3$	$-\underline{I}_1$	DC	$-\underline{I}_3$	$-\underline{I}_3$	DC	$-I_3$	$-I_1$
5	AD	$\underline{I}_1$	$-\underline{I}_3$	AD	$\underline{I}_1$	$\underline{I}_3$	AD	I_1	$-I_3$
6	DA	$-\underline{I}_3$	$\underline{I}_1$	DA	$-\underline{I}_3$	$\bar{I}_1$	DA	$-I_3$	I_1
7	BC	$\underline{I}_3$	$-\underline{I}_1$	BC	$\underline{I}_3$	$-\bar{J}_1$	BC	I_3	$-I_1$

* circuitele de tensiune

Tabelul 6.1

trice CA—32 și CR—32 aferente conexiunilor de curent posibile

de curent cu 3 fire			Coef. de corecție pentru contorul:		Factorul pierderilor tehnologice	Pierderea specifică comercială
cu punte la T.c de tip c sau d			CA-32	CR-32	$e_{tj} = \left(\frac{1}{K_{Aj}}\right)^2 + \left(\frac{\text{tg}\varphi_1}{K_{Rj}}\right)^2$	$e_{cj} = 1 - \frac{1}{K_{Aj}}$
Simbolul imaginii vectoriale	Curenții de acționare		K_{Aj}	K_{Rj}		
	$\underline{I}_I$	$\underline{I}_{III}$				
10	11	12	13	14	15	16
AB	$\underline{I}_1$	$\underline{I}_3$	1	1	$1+\text{tg}^2\varphi_1$	0
BA	$\underline{I}_3$	$\underline{I}_1$	∞ (n.d.)	∞ (n.d.)	—	1
CD	$-\underline{I}_1$	$-\underline{I}_3$	-1	-1	$1+\text{tg}^2\varphi_1$	2
DC	$-\underline{I}_3$	$-\underline{I}_1$	∞ (n.d.)	∞ (n.d.)	—	1
AD	$\underline{I}_1$	$-\underline{I}_3$	$-\frac{\sqrt{3}}{\text{tg}\varphi_1}$	$\sqrt{3}\,\text{tg}\varphi_1$	$\frac{1}{3}(1+\text{tg}^2\varphi_1)$	$1+\frac{\text{tg}\varphi_1}{\sqrt{3}}$
DA	$-\underline{I}_3$	$\underline{I}_1$	$\frac{\sqrt{3}}{2\text{tg}\varphi_1}$	$\frac{\sqrt{3}\,\text{tg}\varphi_1}{2}$	$\frac{4}{3}(1+\text{tg}^2\varphi_1)$	$1+\frac{2\text{tg}\varphi_1}{\sqrt{3}}$
AF	$\underline{I}_1$	$\underline{I}_1-\underline{I}_3$				
FD	$\underline{I}_1-\underline{I}_3$	$-\underline{I}_3$				
BC	$\underline{I}_3$	$-\underline{I}_1$	$\frac{\sqrt{3}}{2\text{t}\,g\varphi_1}$	$-\frac{\sqrt{3}\text{tg}\varphi_1}{2}$	$\frac{4}{3}(1+\text{tg}^2\varphi_1)$	$1-\frac{2\text{tg}\varphi_1}{\sqrt{3}}$
CG	$-\underline{I}_1$	$-\underline{I}_3+\underline{I}_3$				
GB	$-\underline{I}_1+\underline{I}_3$	$\underline{I}_3$				

sînt ordonate corect.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	CB	$-\underline{I}_1$	$\underline{I}_3$	CB	$-\underline{I}_1$	$\underline{I}_3$	CB	$-\underline{I}_1$	$-\underline{I}_3$
9	—	—	—	—	—	—	AH	$\underline{I}_1$	$-\underline{I}-\underline{I}_3$
10	—	—	—	—	—	—	HA	$-\underline{I}_1-\underline{I}_3$	$\underline{I}_1$
11	—	—	—	—	—	—	CE	$-\underline{I}_1$	$\underline{I}_1+\underline{I}_3$
12	—	—	—	—	—	—	EC	$\underline{I}_1+\underline{I}_3$	$-\underline{I}_1$
13	—	—	—	—	—	—	BH	$\underline{I}_3$	$-\underline{I}_1-\underline{I}_3$
14	—	—	—	—	—	—	HB	$-\underline{I}_1-\underline{I}_3$	$\underline{I}_3$
15	—	—	—	—	—	—	DE	$-\underline{I}_3$	$\underline{I}_1+\underline{I}_3$
16	—	—	—	—	—	—	ED	$\underline{I}_1+\underline{I}_3$	$-\underline{I}_1$
17	—	—	—	—	—	—	EB	$\underline{I}_1+\underline{I}_3$	$\underline{I}_3$
18	—	—	—	—	—	—	HC	$-\underline{I}_1-\underline{I}_3$	$-\underline{I}_1$
19	—	—	—	—	—	—	HD	$-\underline{I}_1-\underline{I}_3$	$-\underline{I}_3$
20	—	—	—	—	—	—	EA	$\underline{I}_1+\underline{I}_3$	$\underline{I}_1$
21	—	—	—	—	—	—	DH	$-\underline{I}_3$	$-\underline{I}_1-\underline{I}_3$

Tabelul 6.1 (continuare)

10	11	12	13	14	15	16
CB	$-\underline{I}_1$	$\underline{I}_3$	$\frac{\sqrt{3}}{\mathrm{tg}\varphi_1}$	$-\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1$	$\frac{1}{3}(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1-\frac{\mathrm{tg}\,\varphi_1}{\sqrt{3}}$
—	—	—	∞ (n.d.)	∞ (n.d.)	—	1
—	—	—	$\frac{2}{1+\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}$	$\frac{2\mathrm{tg}\varphi_1}{\sqrt{3}-\mathrm{tg}\varphi_1}$	$(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1+\frac{1+\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{2}$
—	—	—	∞ (n.d.)	∞ (n.d.)	—	1
—	—	—	$\frac{2}{1+\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}$	$\frac{2\mathrm{tg}\varphi_1}{\mathrm{tg}\varphi_1-\sqrt{3}}$	$(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1-\frac{1+\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{2}$
—	—	—	$\frac{2}{\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1-1}$	$-\frac{2\mathrm{tg}\varphi_1}{\mathrm{tg}\varphi_1+\sqrt{3}}$	$(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1+\frac{1-\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{2}$
—	—	—	∞ (n.d.)	∞ (n.d.)	—	1
—	—	—	$\frac{2}{1-\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}$	$\frac{2\mathrm{tg}\varphi_1}{\mathrm{tg}\varphi_1+\sqrt{3}}$	$(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1-\frac{1-\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{2}$
—	—	—	∞ (n.d.)	∞(.nd.)	—	1
AG	$\underline{I}_1$	$-\underline{I}_1+\underline{I}_3$	$\frac{\sqrt{3}}{\mathrm{tg}\varphi_1+\sqrt{3}}$	$\frac{\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1-1}$	$\frac{4}{3}(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1-\frac{\sqrt{3}+\mathrm{tg}\varphi_1}{\sqrt{3}}$
GA	$-\underline{I}_1+\underline{I}_3$	$\underline{I}_1$	$\frac{2\sqrt{3}}{\mathrm{tg}\varphi_1-\sqrt{3}}$	$-\frac{2\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1+1}$	$\frac{1}{3}(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1+\frac{\sqrt{3}-\mathrm{tg}\varphi_1}{2\sqrt{3}}$
CF	$-\underline{I}_1$	$\underline{I}_1-\underline{I}_3$	$-\frac{\sqrt{3}}{\mathrm{tg}\varphi_1+\sqrt{3}}$	$\frac{\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{1-\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}$	$\frac{4}{3}(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1+\frac{\sqrt{3}+\mathrm{tg}\varphi_1}{\sqrt{3}}$
FC	$\underline{I}_1-\underline{I}_3$	$-\underline{I}_1$	$\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3}-\mathrm{tg}\varphi_1}$	$\frac{2\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1+1}$	$\frac{1}{3}(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1-\frac{\sqrt{3}-\mathrm{tg}\varphi_1}{2\sqrt{3}}$
BF	$\underline{I}_3$	$\underline{I}_1-\underline{I}_3$	$-\frac{2\sqrt{3}}{\mathrm{tg}\varphi_1+\sqrt{3}}$	$\frac{2\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{1-\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}$	$\frac{1}{3}(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1+\frac{\sqrt{3}+\mathrm{tg}\varphi_1}{2\sqrt{3}}$

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
22	—	—	—	—	—	—	*AE*	$\underline{I}_1$	$\underline{I}_1+\underline{I}_3$
23	—	—	—	—	—	—	*BE*	h_3	$\underline{I}+\underline{I}_3$
24	—	—	—	—	—	—	*CH*	$-\underline{I}_1$	$-\underline{I}_1-\underline{I}_3$
25	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26	—	—	—	—	—	—	—	—	—
27	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Numai circuite de curent compuse								
29	—	—	—	*NH*	0	$\lambda(-\underline{I}_1-\underline{I}_3)$	—	—	—
30	—	—	—	*HN*	$\lambda^{**}(-\underline{I}_1-\underline{I}_3)$	0	—	—	—
31	—	—	—	*NE*	0	$\lambda(\underline{I}_1+\underline{I}_3)$	—	—	—
32	—	—	—	*EN*	$\lambda(\underline{I}_1+\underline{I}_3)$	0	—	—	—

10	11	12	13	14	15	16
FB	$\underline{I}_1-\underline{I}_3$	$\underline{I}_3$	$\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}-\mathrm{tg}\varphi_1}$	$\frac{\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1+1}$	$\frac{4}{3}(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1-\frac{\sqrt{3}-\mathrm{tg}\varphi}{\sqrt{3}}$
DG	$-\underline{I}_3$	$-\underline{I}_1+\underline{I}_3$	$\frac{2\sqrt{3}}{\mathrm{tg}\varphi_1+\sqrt{3}}$	$\frac{2\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1-1}$	$\frac{1}{3}(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1-\frac{\sqrt{3}+\mathrm{tg}\varphi_1}{2\sqrt{3}}$
GD	$-\underline{I}_1+\underline{I}_3$	$-\underline{I}_3$	$\frac{\sqrt{3}}{\mathrm{tg}\varphi_1-\sqrt{3}}$	$-\frac{\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1+1}$	$\frac{4}{3}(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1+\frac{\sqrt{3}-\mathrm{tg}\varphi_1}{\sqrt{3}}$
FA	$\underline{I}_1-\underline{I}_3$	$\underline{I}_1$	$\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3}-5\mathrm{tg}\varphi_1}$	$\frac{2\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1+5}$	$\frac{7}{3}(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1+\frac{5\mathrm{tg}\varphi_1-\sqrt{3}}{2\sqrt{3}}$
GC	$-\underline{I}_1+\underline{I}_3$	$-\underline{I}_1$	$\frac{2\sqrt{3}}{5\mathrm{tg}\varphi_1-\sqrt{3}}$	$-\frac{2\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1+5}$	$\frac{7}{3}(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1-\frac{5\mathrm{tg}\varphi_1-\sqrt{3}}{2\sqrt{3}}$
BG	$-\underline{I}_3$	$-\underline{I}_1+\underline{I}_3$	$\frac{2\sqrt{3}}{5\mathrm{tg}\varphi_1+\sqrt{3}}$	$\frac{2\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1-5}$	$\frac{7}{3}(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1-\frac{5\mathrm{tg}\varphi_1+\sqrt{3}}{2\sqrt{3}}$
DF	$-\underline{I}_3$	$\underline{I}_1-\underline{I}_3$	$-\frac{2\sqrt{3}}{5\mathrm{tg}\varphi_1+\sqrt{3}}$	$\frac{2\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{5-\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}$	$\frac{7}{3}(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1+\frac{5\mathrm{tg}\varphi_1+\sqrt{3}}{2\sqrt{3}}$
—	—	—	$\frac{2\sqrt{3}}{\lambda(\mathrm{tg}\varphi_1-\sqrt{3})}$	$-\frac{2\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{\lambda(1+\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1)}$	$\frac{1}{12}(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1+\frac{\sqrt{3}-\mathrm{tg}\varphi_1}{4\sqrt{3}}$
—	—	—	$-\frac{2\sqrt{3}}{\lambda(\mathrm{tg}\varphi_1+\sqrt{3})}$	$\frac{2\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{\lambda(1-\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1)}$	$\frac{1}{12}(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1+\frac{\sqrt{3}+\mathrm{tg}\varphi_1}{4\sqrt{3}}$
—	—	—	$\frac{2\sqrt{3}}{\lambda(\sqrt{3}-\mathrm{tg}\varphi_1)}$	$\frac{2\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{\lambda(1+\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1)}$	$\frac{1}{12}(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1-\frac{\sqrt{3}-\mathrm{tg}\varphi_1}{4\sqrt{3}}$
—	—	—	$\frac{2\sqrt{3}}{\lambda(\sqrt{3}+\mathrm{tg}\varphi_1)}$	$\frac{2\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{\lambda(\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1-1)}$	$\frac{1}{12}(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1-\frac{\sqrt{3}+\mathrm{tg}\varphi_1}{4\sqrt{3}}$

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
33	*NG*	0	$\lambda(\underline{I}_1 + \underline{I}_3)$	—	—	—	—	—	—
34	*GN*	$\lambda(-\underline{I}_1 + \underline{I}_3)$	0	—	—	—	—	—	—
35	*NF*	0	$\lambda(\underline{I}_1 - \underline{I}_3)$	—	—	—	—	—	—
36	*FN*	$\lambda(\underline{I}_1 - \underline{I}_3$	0	—	—	—	—	—	—
nr.	12			+4			+16		
img.	+6								+
vect.	+48								

narea lor în modul arătat, este independentă de valoarea dafazajului.

— La restul de 28 variante de funcționare coeficienții de corecție K_{Aj} și K_{Rj} sînt funcții de $\mathrm{tg}\,\varphi_1$, deci toți acești coeficienți de corecție depind de valoarea defazajului φ_1 care, după cum se știe, poate lua valorile de la $-90°$ pînă la $+90°$ (v. figurile 6.3 și 6.4). Deci aceste 28 variante de funcționare au proprietățile comune constînd în următoarele :

— Coeficienții de corecție pot fi exprimați și calculați dacă defazajul se pote determina, mărimea lor depinzînd de valoarea defazajului φ_1 luat în considerare ca valoare medie corespunzătoare întregii perioade în care s-a funcționat eronat.

— Calcularea efectivă a coeficienților de corecție, de asemenea, este o problemă dificilă, deoarece valoarea medie a defazajului, corespunzătoare perioadei în care aparatul de măsură a funcționat cu conexiune eronată, nu poate fi stabilită cu exactitate, fiind necesară admi-

Tabelul 6.1 (e continuare

10	11	12	13	14	15	16
—	—	—	$\frac{2}{\lambda(1+\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1)}$	$\frac{2\mathrm{tg}\varphi_1}{\lambda(\mathrm{tg}\varphi_1-\sqrt{3})}$	$\frac{1}{4}(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1-\frac{1+\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{4}$
—	—	—	$\frac{2}{\lambda(\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1-1)}$	$\frac{2\mathrm{tg}\varphi_1}{\lambda(\sqrt{3}+\mathrm{tg}\varphi_1)}$	$\frac{1}{4}(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1+\frac{1-\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{4}$
—	—	—	$\frac{-2}{\lambda(\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1+1)}$	$\frac{2\mathrm{tg}\varphi_1}{\lambda(\sqrt{3}-\mathrm{tg}\varphi_1)}$	$\frac{1}{4}(3+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1+\frac{1+\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{4}$
—	—	—	$\frac{2}{\lambda(1-\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1)}$	$\frac{2\mathrm{tg}\varphi_1}{\lambda(\sqrt{3}+\mathrm{tg}\varphi_1)}$	$\frac{1}{4}(1+\mathrm{tg}^2\varphi_1)$	$1-\frac{1-\sqrt{3}\mathrm{tg}\varphi_1}{4}$
+16						
32			$^{**}\lambda \cong \frac{1}{2}$			

terea unor aproximări. Se cunoaște că defazajul variază în timp, în funcție de regimul de consum de energie activă și energie reactivă, care la rîndul lor sînt determinate de procesul tehnologic, respectiv de natura receptoarelor și puterile absorbite de acestea în fiecare moment. De asemenea, constituie o problemă determinarea duratei defuncționare cu eroare a aparatelor de măsură, pentru care ar urma ca să se recalculeze, cu ajutorul coeficientului de corecție, cantitatea reală de energie livrată în vederea regularizării decontării între furnizor și consumator.

Dacă avem în vedere faptul că atît determinare expresiei cît și calcularea efectivă a coeficienților de corecție constituie probleme anevoioase și pe deasupra, totuși, recalcularea în vederea regularizării consumului de energie electrică se poate face admițînd anumite proaximări, ajungem la cîteva concluzii importante, după cum urmează :

— Coeficienții de corecție prezentați în tabloul sistematic (tabelul 6.1) își vor găsi utilitatea lor (ajută per-

sonalul executant) în cazurile cînd, după punerea în funcțiune a contoarelor, datorită lipsei sarcinii măsurabile cu wattmetru se impune revenirea după un timp (cunoscut) pentru efectuarea verificării conexiunii sub sarcină. Cu această ocazie, după identificarea variantei de funcționare eronate a contoarelor, cu ajutorul diagramei fazoriale ridicate, coeficienții de corecție K_{Aj} și K_{Rj} pot fi găsiți din tabloul sistematic, nemaifiind necesar să se facă calculele trigonometrice respective. Recalcularea consumului real, pe perioada de la punere în funcțiune și pînă la revenirea pentru verificarea funcțională a instalației de măsură se poate face cu ajutorul acestor coeficienți și al timpului cunoscut, urmînd să se determine prin aproximare numai valoarea defazajului φ_{1m}.

Se subliniază însă faptul că ordonarea circuitelor de tensiune, la bornele aparatelor de măsură, este obligatorie încă de la punere în funcțiune (sub tensiune) conform metodologiei prezentate la sub-capitolul 5.4.

Scopul principal al verificării funcționale a aparatelor de măsură trebuie să fie prevenirea funcționării lor cu erori neadmise sau cu conexiune eronată; deci instalarea unor aparate admise și eliminarea erorilor de legături încă din momentele punerii în funcțiune sau ale apariției sarcinii în instalația de alimentare, prin aceasta evitîndu-se regularizările ulterioare.

6.2. Considerații practice privind depistarea variantelor de funcționare eronate în cazul contoarelor CA-32 și CR-32

Variantele de funcționare, avînd coeficienții de corecție exprimabili, pot fi studiate prin curbele $K_{Aj} = f(\varphi_1)$ și $K_{Rj} = f(\varphi_1)$ din figurile 6.3 și 6.4. Unele variante eronate, ca și varianta $j = 1$ (corespunzătoare schemei de conexiune corectă), duc la cupluri de rotire pozitive, respectiv determină rotirea echipajului mobil în sens „înainte", iar altele — datorită cuplului negativ — determină rotirea echipajului mobil în sens „înapoi". De asemenea, se poate observa că la unele variante de funcționare eronate, la anumite valori ale defazajului φ_1,

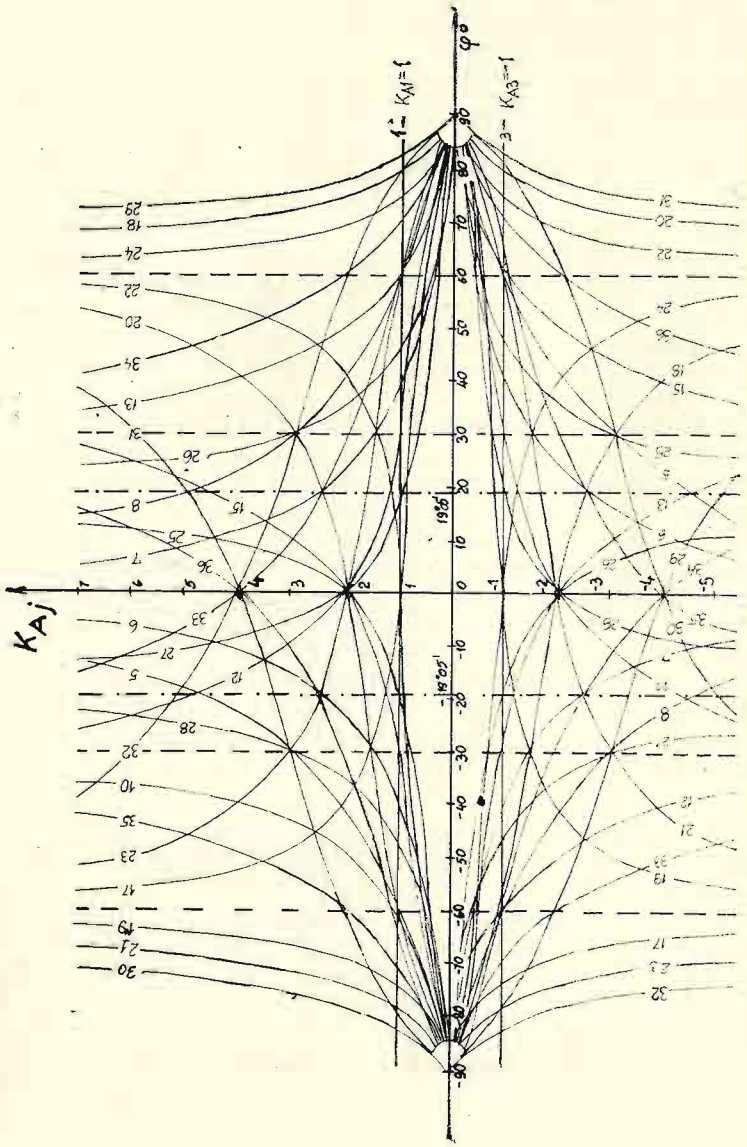


Fig. 6.3. Curbele de variație ale coeficienților de corecție pentru contoare de energie electrică activă CA — 32

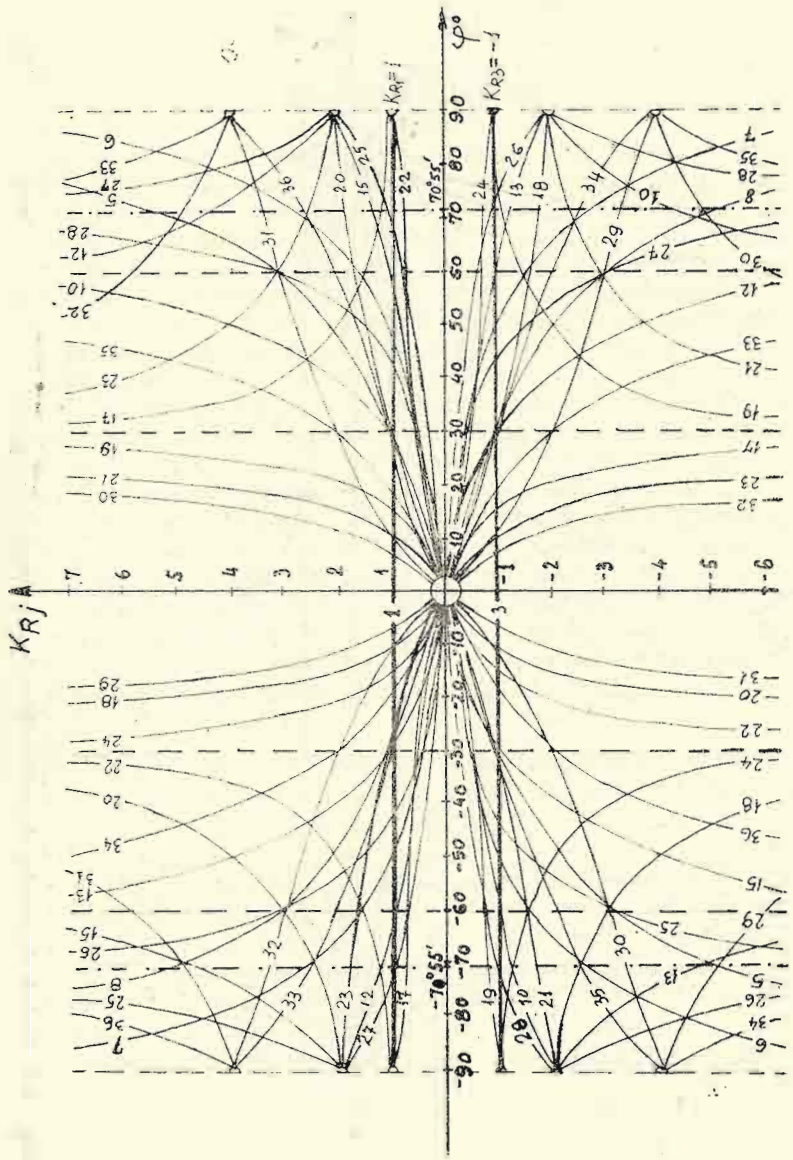


Fig. 6.4. Curbele de variație ale coeficienților de corecție pentru contorul de energie electrică reactivă CR–32

coeficientul de corecție își modifică valoarea sa brusc de la $+\infty$ la $-\infty$, respectiv cuplul tinde să ia valoarea zero, fapt ce se manifestă la aparat prin mișcarea oscilatorie a echipajului mobil, cu tendință de oprire. Asemenea valori critice ale defazajului sînt evidențiate în cazul diagramelor din figura 6.3 prin verticalele întrerupte trasate la valorile φ_1 de $\pm 60°$, $\pm 30°$, $\pm 19°05'$ și $0°$. În cazul curbelor $K_{Rj} = f(\varphi_1)$ din figura 6.4 verticalele asimptotice au loc la defazajele $\pm 30°$, $\pm 60°$, $\pm 70°55'$ și $\pm 90°$.

Sub aspect practic, în cazul concret al contoarelor electrice trifazate cu echipaj mobil (disc rotitor), cum sînt contoarele CA-32 și CR-32, cu ocazia punerii lor în funcțiune, prin observare vizuală se pot face constatări asupra modului de funcționare. Dacă discul se rotește în sens invers (față de sensul înainte indicat de fabricant pe capacul contorului printr-o săgeată), se constată prin acest indiciu existența erorii de conectare. De asemenea, și în situația cînd discul contorului staționează sau oscilează fără să înainteze, deși are loc transmiterea energiei electrice către consumator (și stagnarea discului nu se datorește unui blocaj mecanic), montatorul de aparate va încerca, după instinctul său practic, prin schimbarea între ele a legăturilor circuitelor de măsură, să obțină o rotire a discului contorului în sensul înainte. Dar, după cum se știe din literatura de specialitate [1], sensul de rotire înainte al discului nu confirmă univoc corectitudinea conexiunii realizate. De altfel, același lucru se desprinde și din curbele prezentate în figurile 6.3 și 6.4 menționate mai sus.

În comparația variantelor de funcționare eronate cu cea corectă, este înșelător faptul că mărimea cuplurilor, ca și a coeficienților de corecție rezultate din conexiunile eronate, la anumite valori ale defazajului φ_1, poate fi apropiată și chiar egală cu cea a variantei de funcționare corectă. A se vedea în acest sens punctele de intersecție ale curbelor K_{Aj} cu dreapta orizontală care reprezintă $K_{A1} = 1 = \text{const}$, sau punctele de intersecție ale curbelor K_{Rj} cu orizontala corespunzătoare $K_{R1} = 1 = \text{const}$. din fig. 6.3 și 6.4.

Înregistrările aparatului de măsură, funcționînd în variantă eronată, nu va putea coincide cu înregistrarea la conexiunea corectă decît în cazul dacă, consumul de energie electrică ar avea loc tot timpul la aceeași valoare a defazajului la care se intersectează curba cu dreapta. Or, se știe că defazajul este o mărime variabilă în timp, în funcție de regimul de consum, natura receptorilor, încărcarea receptorilor și aportul acestora în curba de sarcină în fiecare moment.

Ca urmare a analizei posibilităților practice de identificare a variantelor de funcționare ale contoarelor electrice trifazate CA-32 și CR-32, în cele ce urmează se sintetizează cîteva concluzii demne de reținut:

a) Sensul de rotire al discului contorului este edificator numai în cazurile de rotire în sensul înapoi și cînd stagnează sau oscilează pe loc, aceste manifestări constituind indicii certe privind existența erorii în conexiunea aparatului. Nu oferă însă nici o indicație privind identitatea erorii de conexiune;

b) Sensul de rotire înainte al discului nu confirmă corectitudinea conexiunii, dimpotrivă constituie un indicator al nedeterminării variantei de funcționare;

c) Concluziile *a*) și *b*) de mai înainte sînt valabile atît pentru contorul CA-32 cît și pentru contorul CR-32, cu precizarea că sensurile de rotire ale echipajelor mobile ale celor două feluri de aparate nu coincid în toate variantele de funcționare eronate;

d) Din constatarea menționată la punctul *c*) rezultă implicit că sensul de rotire înapoi al discului unuia dintre cele două contoare (CA-32 și CR-32) înseriate în aceleași circuite de curent, în timp ce discul celuilalt aparat se rotește înainte, constituie, de asemenea, indiciul cert al erorii de conexiune, (bineînțeles numai într-un regim de vehiculare cu sens unic atît a energiei active cît și a celei reactive);

e) Dacă în circuitele de măsură este conectat numai un fel de aparat (de exemplu, numai CA-32, caz frecvent întîlnit în practică, lipsind contorul pentru energie reactivă), numărul variantelor de funcționare cu sensul de rotire înainte a discului neidentificabile este, evident, mai mare de cît în cazul în care în circuitele respective sînt prezente ambele tipuri de contoare;

f) Numărul variantelor de funcționare cu rotirea discului contorului în sensul înainte este caracteristic unor intervale valorice ale defazajului, diferind de la interval la interval. (Aceste intervale caracteristice ale defazajului sînt cele delimitate de verticalele asimptotice reprezentate prin linii întrerupte în diagramele din fig. 6.3 și 6.4.);

Variantele de funcționare (*j*) cu rotirea discului în sensul înainte, deci cele care au șanse de a fi menținute în exploatare pe baza criteriului de sens, fără să se știe dacă corespund schemei corecte sau nu, concretizate și grupate în funcție de sistemul de montaj, de numărul aparatelor sînt redate în tabelul 6.2.

Din tabelul 6.2 se poate desprinde că, chiar și în situația cea mai favorabilă, cînd sînt prezente ambele tipuri de contoare în circuitul de măsură, au posibilitate de menținere în funcțiune, pe lîngă varianta corectă de funcționare ($j = 1$) încă un număr de 1, 2, 3 sau chiar 4 variante eronate, în funcție de intervalele caracteristice ale defazajului φ_1.

Excepție constituie cazul montajului circuitelor de curent realizate cu patru conductoare, avînd punte de pămîntare la secundarele trausformatoarelor de curent de tipul „a" sau „b". În cazul acestui montaj, dar numai în intervalul $\varphi_1 = 30°...60°$, fiind prezente atît controlul pentru energie activă (CA—32) cît și contorul pentru energie reactivă (CR—32), pe baza criteriului de sens de rotire a discurilor, se elimină probabilitatea menținerii vreunei variante de funcționare eronate, existînd o singură coincidență ca ambele contoare să funcționeze cu rotirea discului în sensul înainte, această concidență avînd loc numai în cazul conexiunii corecte. Din nefericire, funcționarea contoarelor nu se poate limita numai la intervalul defazajului de $30°...60°$.

6.3. Efectele economice negative ale conexiunilor eronate

Aparatele de măsură conectate greșit conduc la măsurări eronate și prin aceasta pot influența negativ relațiile economice dintre furnizorul și consumatorul de energie

Tabelul 6.2

Variantele de funcționare „j" cu șanse reale de a fi menținute în instalație pe baza criteriului de sens

Tipul de schemă de montaj	Tipul de punte de pământare la T.C.	Aparatul (aparatele) la care se face observarea sensului de rotire	Variantele „j" cu șanse reale de a fi menținute în funcțiune în domeniile $\varphi > 0°$
			φ $0°$ $19°05'$ $30°$ $60°$ $70°55'$ $90°$
Circuite de curent realizate din 4 conductoare	a sau b	CA-32	1, 7, 8, 33, 36 | 1, 7, 8, 33, 34 | 1, 7, 8, 33, 34
		CA-32+CR-32	1, 36 | 1, | 1, 33
	c sau d	CA-32	1, 7 8, 31, 32 | 1, 7, 8, 31, 32 | 1, 7, 8, 29, 32
		CA-32+CR-32	1, 31 | 1, 31, 32 | 1, 32,
Circuite de curent realizate din 3 conductoare	a sau b	CA-32	1, 7,8,12,15,17,20,22,23 | 1,7,8,12,13,17,20,22,23 | 1,7,8,12,13,17,18,23,24,
		CA-32+CR-32	1, 15, 20, 22 | 1, 17, 20, 22, 23 | 1, 12, 17, 23
	c sau d	CA-32	1,7,8,17,20,22,23,25,27 | 1,7,8,17,20,22,23,26,27 | 1,7,8,17,18,23,24,26,27 | 1,7,8,17,18,23,24,26,27
		CA-32+CR-32	1,20,22, 25 | 1, 20, 22 | 1, 17, 20, 22, 23 | 1, 17, 23 | 1,17,23,27

electrică. De asemenea îngreunează analizarea balanțelor energetice întocmite în baza indicațiilor lor. Balanțele eronate nu permit desprinderea concluziilor reale privind evaluarea pierderilor comerciale, a consumului propriu tehnologic de energie electrică și ca urmare nici asupra randamentului și eficienței economice a exploatării sistemului electroenergetic respectiv.

6.3.1. Pierderi financiare (comerciale) la decontarea consumului de energie electrică

Se înțelege că modul corect sau eronat al măsurării nu influențează schimbul real de energie electrică dintre instalațiile furnizorului și consumatorului. Respectiv, indiferent de calitatea măsurării, energia furnizată prin instalația primară coincide cu cantitatea de energie electrică preluată de consumator, punctul de schimb fiind comun ambilor parteneri comerciali.

Dacă contorul pentru măsurarea energiei electrice este conectat greșit, va înregistra o cantitate diferită față de energia electrică real transmisă de furnizor în instalația consumatorului. Prin urmare, pierderile (sau cîștigurile) economice, datorită erorilor de măsurare se materializează financiar cu ocazia decontării și tarifării consumului, care se face pe baza înregistrării energiei de aparatul conectat eronat. Aparatul poate indica o cantitate de energie electrică mai mare de cît cea reală, în acest caz furnizorul beneficiază de un venit suplimentar în dauna consumatorului. Dacă aparatul înregistrează o cantitate mai mică de energie decît consumul real, atunci consumatorul beneficiază de o cantitate de energie gratuită în dauna furnizorului. Cantitatea de energie electrică neînregistrată de contor, constituie pierderea comercială de energie electrică a furnizorului. Rezultă că în ambele situații are loc pierderea financiară, indiferent că aceasta într-un caz afectează pe consumator, iar în cazul contrar pe furnizor. Desigur, paralel cu pierderea financiară într-o parte apare „cîștigul" corespunzător la partener. Ne propunem în cele ce urmează să analizăm latura pierderilor financiare, care este, evident

mai deranjant, atit pentru furnizori cît și pentru consumatorul de energie electrică.

Pierderea financiară (P_f) ce poate apărea cu ocazia decontării schimbului de energie electrică este direct proporțională cu diferența dintre energia real consumată și cea înregistrată eronat de contor, ce poate fi exprimată matematic astfel :

$$P_f = \Delta E_{cj}\, p = (E_{A1} - E_{Aj})\, p. \qquad (6.12)$$

În relația (6.12) s-au folosit notațiile următoare :

ΔE_{cj} — diferența (pierderea comercială) de energie electrică, în kWh ;

E_{A1} — cantitatea de energie electrică, în kWh, real consumată (care ar coincide cu cantitatea măsurată de un contor fără eroare care funcționează cu conexiunea corectă, corespunzător deci, variantei de funcționare $j = 1$, din tabloul sistematic) ;

E_{Aj} — cantitatea de energie electrică în kWh indicată de contorul conectat eronat, respectiv care are una din variantele de funcționare $j = 2 . . . 36$;

p — prețul energiei electrice lei/kWh (tariful pentru categoria respectivă de consumator).

Prezintă interes studierea pierderii comerciale de energie electrică exprimată conform relației (6.13) :

$$\Delta E_{Cj} = E_{A1} - E_{Aj} = E_{Aj}\left(\frac{E_{A1}}{E_{Aj}} - 1\right) = E_{Aj}\,(K_{Aj} - 1), \qquad (6.13)$$

în care se identifică semnificația lui K_{Aj} ca fiind coeficientul de creție pentru contorul de energie electrică activă (CA-32) care funcționează în varianta j (v. coloana 13 din tabloul sistematic).

Dacă se raportează pierderea comercială de energie (ΔE_{Cj}) la cantitatea de energie electrică reală (E_{A1}), se obține definirea pierderii comerciale specifice (e_{cj}) ; împărțind

deci ecuația (6.13) cu E_{A1} se va obține expresia matematică :

$$e_{cj} = \frac{\Delta E_{cj}}{E_{A1}}\,\frac{E_{Aj}}{E_{A1}}\,(K_{Aj} - 1) = \frac{1}{K_{Aj}}\,(K_{Aj} - 1) =$$

$$= 1 - \frac{1}{K_{Aj}} ;$$

$$\text{respectiv,}\quad e_{cj} = 1 - \frac{1}{K_{Aj}}. \qquad (6.14)$$

Cu ajutorul relației (6.14), avînd la dispoziție coeficienții de corecție K_{Aj}, s-au putut exprima pierderile comerciale specifice (e_{cj}) în funcție de defazajul φ_1 pentru toate variantele de funcționare (v. coloana 16 din același tablou sistematic prezentat mai sus).

Analiza acestor pierderi comerciale specifice se poate face cu ajutorul curbelor $e_{cj} = f\ (\varphi_1)$ prezentate în fig. 6.5 (pierderile comerciale specifice de energie electrică în cazul circuitelor de curent cu patru conductoare) și în figura 6.6. (pierderile comerciale specifice de energie electrică în cazul circuitelor de curent cu trei conductoare).

Se menționează că în figurile 6.5 și 6.6 sînt reprezentate curbele de variație (e_{cj}) aferente numai variantelor de funcționare, care au șanse reale de a se regăsi în exploatare, după criteriul de sens de rotire a discului contorului și respectiv acelor situații practice la care în circuitele de măsură este conectat numai contorul pentru energie electrică activă CA-32, (v. rîndurile respective din tabelul 6.2.)

Din curbele de variație corespunzătoare mărimii defazajului φ_1, poate fi citită direct, valoarea pierderii comerciale specifice e_{cj}, în funcție de care pierderea financiară se calculează cu ajutorul relației (6.15) :

$$P_j = \Delta E_{cj}\, p = e_{cj}\, E_{A1}\, p \qquad (6.15)$$

Exemplu : Contorul CA-32 funcționînd în varianta $j = 7$, este conectat într-un circuit de curent realizat cu patru conductoare, avînd punte de pămîntare de tipul „a" (realizată între începuturile secundarelor transformatoarelor de curent). Cantitatea de energie real consumată de întreprindere industrială în cauză, pe o durată de 5 luni este de $E_{A1} = 3\,000\,000$ kWh. Defazajul este $\varphi_1 = 30°$ ($\cos \varphi_1 = 0{,}87$).

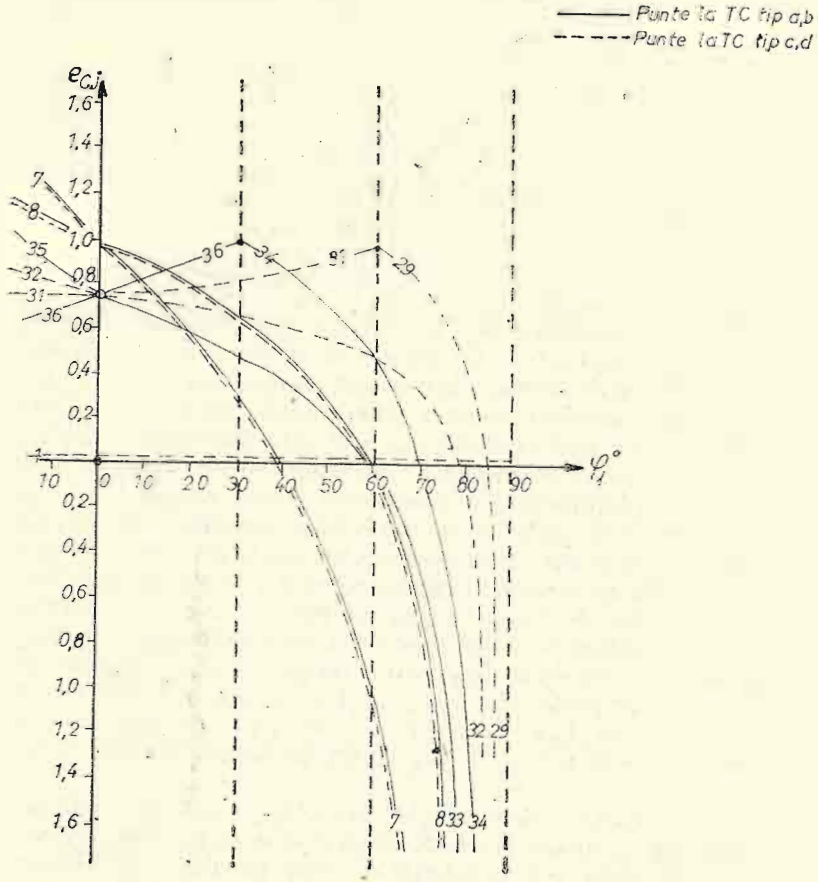


Fig. 6.5. Pierderile comerciale specifice de energie electrică, în cazul circuitelor de curent cu patru conductoare.

Pentru determinarea pierderii comerciale specifice, în figura 6.5. se ridică o verticală din punctul $\varphi_1 = 30°$ pînă se întîlnește curba 7. Din punctul de intersecție a curbei 7 cu verticala menționată, ducînd o orizontală pînă la axa e_{cj}, se va găsi valoarea pierderii comerciale specifice căutate și anume $e_{c7} = 0{,}33$. Considerînd prețul energiei $p = 0{,}50$ lei/kWh, cu ajutorul relației (6.15), în care se înlocuiesc valorile determinate mai

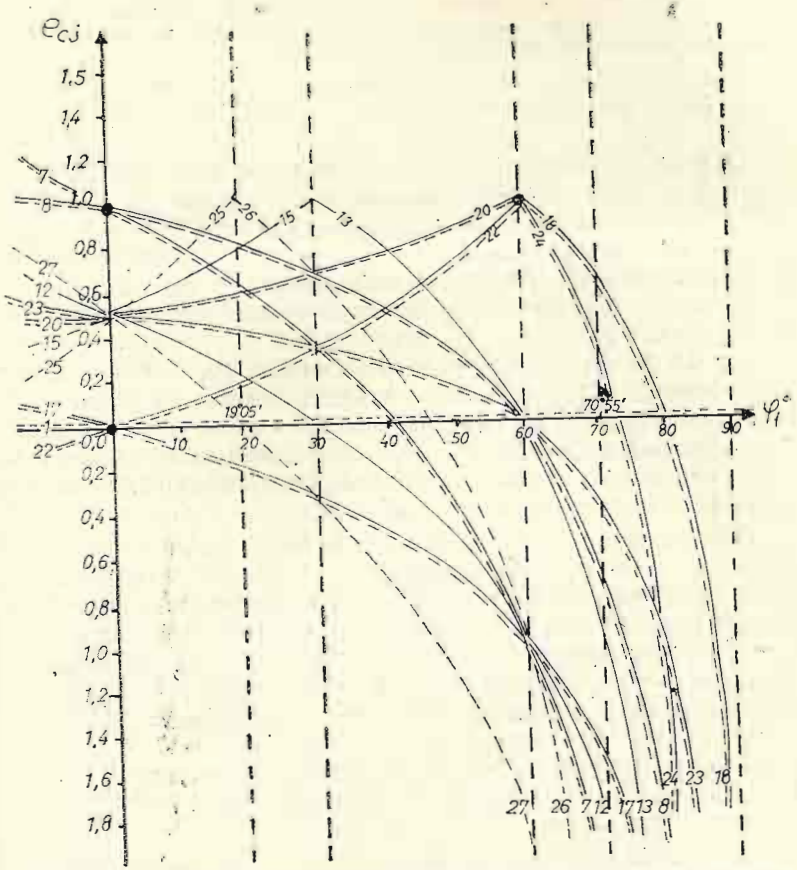


Fig. 6.6. Pierderile comerciale specifice de energie electrică, în cazul circuitelor de curent cu trei conductoare.

——— *punte la TC tip a,b*
– – – – *punte la TC tip c,d*

sus prin calcul se obține valoarea pierderii financiare înregistrate de furnizor în perioada de 5 luni luată în considerare astfel :

$$P_f = 0{,}33 \cdot 3\,000\,000 \cdot 0{,}50 = 495\,000 \text{ lei.}$$

Rezultă că furnizorul are o pierdere de cîte 99,00 lei pe lună, datorită măsurării eronate, neîncasînd contravaloarea unei cantități de energie electrică, de care consumatorul a beneficiat.

În balanța lunară a schimbului de energie electrică, furnizorul se înregistrează, în mod fictiv, cu un consum propriu tehnologic de energie electrică suplimentar, datorită pierderii comerciale de :

$$\Delta E_{c7} = e_{c7} \frac{E_{At}}{5} = 0{,}33 \frac{3\,000\,000}{5} = 198\,000 \text{ kWh/lună.}$$

Printr-o sumară analiză a curbelor prezentate în figurile 6.5 și 6.6. se desprind următoarele constatări interesante :

— La fiecare variantă de funcționare eronată, contorul înregistrează greșit și ca urmare, aceste variante duc la pierderi financiare variabile după caracteristica curbelor respective ;

— În domeniul uzual al defazajului ($\varphi_1 = 0^0, \ldots \approx 60^0$) pierderile comerciale de energie electrică (cît și pierderile financiare) datorate măsurării eronate în majoritatea variantelor, rezultă pozitive (în dauna furnizorului) și cu atît mai mari cu cît valoarea defazajului este mai mică (factor de putere mai bun).

La o examinare individuală a fiecărei curbe caracteristice, se vede mai clar domeniul φ_1 în care măsurarea eronată, după caracteristica respectivă îl dezavantajează pe furnizor ($e_{cj} > 0$) și domeniul în care pierderile au loc în dauna consumatorului, ($e_{cj} < 0$). De exemplu, în cazul variantei de funcționare $j = 7$, între $\varphi_1 = 0^0 \ldots 40^0$, pierderile se localizează la furnizor, iar în domeniul $40^0 \ldots 90^0$ la consumator. În cazul variantelor $j = 8$, 13, 23 și 33 pierderile afectează pe furnizor în domeniul $\varphi_1 = 60^0 \ldots 60^0$, iar pe consumator în domeniul $\varphi_1 = 60^0 \ldots 90^0$ și așa mai de parte.

— Furnizorul este cel mai interesat în asigurarea funcționării contoarelor fără eroare de conexiune.

6.3.2 Pierderi economice ce pot rezulta datorită determinării eronate a consumului propriu tehnologic de energie electrică din rețele

Pentru măsurarea consumului propriu tehnologic de energie electrică (pierderi tehnologice prin efectul Joule — Lenz) din rețele, literatura de specialitate recomandă utilizarea contoarelor de pierderi, cunoscute și

sub denumirea de amperpătratoremetre $\left(\Delta E_t = R\int_{t_1}^{t_2} i^2 dt\right)$.

În lipsa acestor aparate integratoare speciale recomandate, în tehnologia actuală a exploatării rețelelor electrice, consumul propriu tehnologic (pierderile) de energie se determină și se urmărește prin balanțele energiei electrice primite și distribuite, întocmite periodic în baza înregistrărilor contoarelor de energie electrică activă obișnuită.

Se înțelege că pierderea tehnologică de energie dintr-o zonă de rețea de linii electrice se poate determina cu ajutorul balanțelor, respectiv prin determinarea diferenței înregistrărilor contoarelor instalate la nodurile de delimitare a rețelei considerate, numai dacă erorile de funcționare ale acestor aparate sînt egale între ele. În practică însă, reglarea și menținerea la aceeași eroare de funcționare internă a tuturor contoarelor implicate nu este realizabilă, erorile contoarelor diferă între ele atît ca mărime cît și sens (plus și minus) și în același timp sînt și variabile în timp în funcție de sarcină și factor de putere.

Rezultanta însumării erorilor de funcționare, ale tuturor contoarelor utilizate la întocmirea balanței într-o rețea considerată, poate depăși cu mult valoarea tolerată a erorii de măsură individuală a unui aparat

În scopul limitării abaterilor grosolane, prescripțiile tehnice de exploatare prevăd ca la nivelul nodurilor (barele stațiilor de transformare sau de conexiune etc.) să se echilibreze astfel erorile aparatelor de măsură încît rezultanta acestora să se înscrie în limitele $\pm 1\%$.

Trebuie avută în vedere, de asemenea, că la întocmirea balanțelor de energie electrică intervin ca elemente perturbatoare și acele aspecte practice care sînt legate de imposibilitatea citirii simultane a indexurilor tuturor contoarelor cît și de unele consumuri de energie electrică necontrolabile (nemăsurate, sustrase ilicit). Drept urmare, de fapt prin balanțele periodice, se determină o diferență între energia primită în zona de rețea și cea transmisă din ea către consumatori, care cuprinde atît pierderile tehnologice cît și cele comerciale de energie electrică.

Pentru analizarea structurii pierderilor totale de energie electrică, în primul rînd trebuie evaluată ponderea pierderilor tehnologice pentru același interval de timp pentru care s-a întocmit balanța pe zona de rețea respectivă.

Pierderea tehnică de energie electrică ΔE_t, în kwh, se calculează cu relația cunoscută;

$$\Delta E_t = 3k_f^2 \frac{I_{wm}^2}{\cos^2 \varphi_m} R_e t, \qquad (6.16)$$

În relația (6.16) semnificația notațiilor sînt:

k_f — reprezintă coeficientul de formă al curbei de sarcină;

I_{wm} — curentul wattat mediu (corespunzător puterii medii active), în A;

R_e — rezistența electrică echivalentă pe o fază, în kΩ;

$\cos \varphi_m$ — factor de defazaj mediu (factor de putere mediu în sistem simetric, echilibrat).

Prin determinarea cantității pierderilor tehnologice de energie electrică, se va obține elementul de fundamentare tehnico-economică a necesității și oportunității efectuării unor investiții pentru reducerea (optimizarea) consumului propriu tehnologic, respectiv pentru îmbunătățirea randamentului de funcționare a rețelei electrice respective.

Pe de altă parte, pierderile tehnologice fiind determinate, prin diferență, față de pierderea totală stabilită cu ajutorul balanței se va obține cuantumul pierderilor comerciale care va sta la baza unor măsuri tehnico-organizatoarice privind stăpînirea fluxului de energie electrică (îmbunătățirea instalațiilor de măsurare, mobilizarea personalului de exploatare a rețelelor și a consumatorilor la valorificarea întregii cantități de energie furnizată), respectiv la o gospodărire mai rațională în utilizarea ei.

În condițiile respectării prescripțiilor de exploatare privind echilibrarea grupelor de contoare astfel ca eroarea rezultantă să se înscrie în limitele menționate (± 1%),

bineînțeles utilizîndu-se aparate admise de metrologie, balanțele periodice pot constitui mijloace utile de analiză a randamentului de funcționare a rețelelor electrice cît și a modului de gospodărire a energiei electrice vehiculate prin aceste rețele.

Revenind la problema conexiunii aparatelor de măsură și ținînd seamă de probabilitatea reală a apariției unor erori de conexiune, se va înțelege că, dacă dintre contoarele utilizate la întocmirea balanțelor, unele funcționează cu conexiune greșită, utilitatea balanțelor se diminuează foarte mult, ba chiar se pot transforma în surse de informații și concluzii greșite.

Pentru a evidenția efectul derutant (care poate duce la decizii greșite cu consecințe economice negative) al conexiunii aparatului de măsură, atît la întocmirea balanțelor cît și în calculele efectuate pentru determinarea pierderilor tehnologice de energie electrică, în cele ce urmează se va arăta influența perturbatoare a erorii de conexiune a contoarelor de energie activă CA 32, și a celor de energie reactivă CR-32 instalate la începutul unei linii electrice (din cadrul unei rețele considerate).

Urmărind calcularea pierderilor tehnice de energie electrică pe o perioadă de timp t ore (egal cu intervalul de timp pentru care s-a întocmit balanța de energie electrică), pentru fiecare linie din zona de rețea analizată, se poate aplica relația de calcul (6.16).

Cu ajutorul indicațiilor contoarelor CA 32 și CR-32 conectate corect se pot determina valoarea curentului mediu wattat (I_{w1m}) și a factorului de defazaj mediu ($\cos \varphi_{1m}$) și anume:

$$I_{w1m} = \frac{E_{A1}}{\sqrt{3}Ut} \text{ și} \qquad (6.17)$$

$$\cos \varphi_{1m} = \frac{E_{A1}}{\sqrt{E_{A1}^2 + E_{R1}^2}} \qquad (6.18)$$

în care: E_{A1} și E_{R1} reprezintă energia activă [kWh] și respectiv energia reactivă [kvarh], debitate real în linie; U este tensiunea liniei [kV].

După efectuarea înlocuirilor în relația (6.16) se obține o altă relație de calcul al pierderilor tehnice de energie electrică în care apar mărimile furnizate direct de contoare :

$$\Delta E_{t1} = \frac{E_{A1}^2 + E_{R1}^2}{U^2 t} k_f^2 R_e, \qquad (6.19)$$

$$\text{sau : } \Delta E_{t1} = E_{A1}^2 \left(1 + \frac{E_{R1}^2}{E_{A1}^2}\right) \frac{k_f^2}{U^2} \frac{R_e}{t}. \qquad (6.19\text{ a})$$

Ținînd seamă de egalitatea cunoscută și anume :

$$1 + \frac{E_{R1}^2}{E_{A1}^2} = 1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_{1m} = \frac{1}{\cos^2 \varphi_{1m}}, \qquad (6.20)$$

$$\text{și notînd cu } K_r = \frac{k_f^2}{U^2} \frac{R_e}{t}, \qquad (6.21)$$

relația pentru calculul pierderii tehnice de energie electrică se poate prezenta sub formele practice simplificate, după cum urmează :

$$\Delta E_{t1} = K_r E_{A1}^2 \left(1 + \frac{E_{R1}^2}{E_{A1}^2}\right), \qquad (6.22)$$

$$\Delta E_{t1} = K_r E_{A1}^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_{1m}), \qquad (6.22\text{ a})$$

$$\Delta E_{t1} = \frac{K_r E_{A1}^2}{\cos^2 \varphi_{1m}}, \qquad (6.22\text{ b})$$

K_r avînd expresia definită conform relației (6.21) constituie factorul de particularizare [kWh^{-1}]. Se înțelege din relația (6.21) că factorul de particularizare K_r se poate calcula pentru o linie dată, după ce în prealabil se determină valoarea rezistenței echivalente pe o fază R_e, exprimată în kΩ, se ia în calcul tensiunea liniei U, în kV, se determină valoarea factorului de formă k_f din curba de sarcină a liniei în cauză și se ia durata de calcul t, în ore, corespunzătoare perioadei pentru care se urmărește determinarea pierderii tehnologice de energie electrică.

Dacă contoarele de pe linie sînt conectate eronat, după oricare variantă de funcționare ($j = 2 \ldots 36$), prin

calculele conform relațiilor (6.22) se va obține pierderea de energie electrică tehnică eronată. Prin analogie, dacă în relațiile (6.22) se înlocuiește indicele 1 cu j, se obține o relație de forma următoare :

$$\Delta E_{tj} = K_r E_{Aj}^2 \left(1 + \frac{E_{Rj}^2}{E_{Aj}^2}\right) \qquad (6.23)$$

Această relație (6.23), avînd caracter general, poate fi aplicată în oricare variantă eronată de funcționare din punct de vedere a conexiunilor posibile.

Pentru simplificarea problemelor studiate, admitem că între cele două contoare (CA-32 și CR-32) se păstrează concordanța de conectare, abaterile de conexiune se consideră că au loc numai între transformatoarele de măsură și primul aparat din seria aparatelor conectate în aceași instalație de măsură. (Primul aparat, din acest punct de vedere poate fi considerat și blocul de încercare sau șirul de conectori, după caz).

În baza tabloului sistematic a variantelor de funcționare, raționalizarea relației de calcul se poate continua. Dacă în relația (6.23) mărimile E_{Aj} și E_{Rj} se introduc exprimate în funcție de energiile reale E_{A1} și E_{R1} și coeficienții de corecție K_{Aj} și respectiv K_{Rj}, după corelațiile cunoscute

$$E_{Aj} = \frac{E_{A1}}{K_{Aj}} \text{ și } E_{Rj} = \frac{E_{R1}}{K_{Rj}},$$

se va obține expresia pierderii tehnologice de energie electrică eronată în funcție de energia activă reală și defazajul real φ_{1m} sub forma :

$$\Delta E_{tj} = K_r E_{A1}^2 \left(\frac{1}{K_{Aj}^2} + \frac{\operatorname{tg}^2 \varphi_{1m}}{K_{Rj}^2}\right) \qquad (6.24)$$

Analizînd relația (6.24) în comparație cu expresia (6.22a), se observă că între ele deosebirea se concretizează la expresiile din parantezele lor. Într-adevăr, dacă în relația (6.24) înlocuim coeficienții de corecție corespunzătoare variantei corecte de funcționare (conexiunea corectă),

adică
$K_{Aj} = K_{A1} = 1$ și $K_{Rj} = K_{R1} = 1$, expresia din paranteza relației (6.24) se va transforma astfel :

$$\left(\frac{1}{K_{Aj}^2} + \frac{\operatorname{tg}^2\varphi_{1m}}{K_{Rj}^2}\right) = \left(\frac{1}{1} + \frac{\operatorname{tg}^2\varphi_{1m}}{1}\right) = (1 + \operatorname{tg}^2\varphi_{1m}).$$

Cunoscînd că, expresia $1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_{1m} = \dfrac{1}{\cos^2\varphi_{1m}} = e'_{t1}$ este factorul de pierdere tehnologică reală, concluzia privitoare la expresia din paranteza relației (6.24) este că ea reprezintă factorul de pierdere într-o formulare generală, ce corespunde oricărei variante de funcționare j, deci se poate scrie :

$$e'_{tj} = \frac{1}{K_{Aj}^2} + \frac{\operatorname{tg}^2\varphi_{1m}}{K_{Rj}^2}, \qquad (7.25)$$

în care : prin e'_{tj} s-a simbolizat factorul de pierdere tehnologică de energie electrică.

Potrivit definirii sale, factorul de pierdere este variabil în funcție de defazajul real φ_{1m} și este specifică (caracteristică) pe grupe de variante de funcționare, după cum acest fapt reiese din coloana 15 al tabloului sistematic.

Modul cum se denaturează valorile reale ale pierderilor tehnologice de energie electrică, determinate din datele oferite de contoarele conectate eronat, se poate constata cu ajutorul curbelor factorilor de pierdere tehnologică $e'_{tj} = f(\varphi_{1m})$ reprezentate în fig. 6.7 :

Se menționează că în fig. 6.7 s-au reprezentat, ca și în cazul pierderlor comerciale, numai factorii de pierderi tehnologice corespunzătoare variantelor de funcționare neeliminabile pe baza criteriului de sens de rotire a discului contorului de energie electrică activă (v. evidențierea acestora și în tabelul 6.2).

Din figura 6.7. se poate constata că din cele șase curbe numerotate cu $I \ldots VI$, fiecare caracterizează cîte o grupă de variante de funcționare și anume :

$$f_I(\varphi_1) = e'_{t1} = e'_{t12} = e'_{t13} = e'_{t15} = 1 + \operatorname{tg}^2\varphi_1 = \frac{1}{\cos^2\varphi_1} \qquad (6.26)$$

$$f_{II}(\varphi_1) = e'_{t7} = e'_{t17} = e'_{t22} = e'_{t24} = \frac{4}{3}(1+\operatorname{tg}^2\varphi_1) = \frac{4}{3\cos^2\varphi_1} \qquad (6.27)$$

$$f_{III}(\varphi_1) = e'_{t8} = e'_{t18} = e'_{t20} = e'_{t23} = \frac{1}{3}(1+\operatorname{tg}^2\varphi_1) = \frac{1}{3\cos^2\varphi_1}, \qquad (6.28)$$

$$f_{IV}(\varphi_1) = e'_{t25} = e'_{t26} = e'_{t27} = \frac{7}{3}(1+\operatorname{tg}^2\varphi_1) = \frac{7}{3\cos^2\varphi_1}, \qquad (6.29)$$

$$f_V(\varphi_1) = e'_{t29} = e'_{t31} = e'_{t32} = \frac{1}{12}(1+\operatorname{tg}^2\varphi_1) = \frac{1}{12\cos^2\varphi_1}, \qquad (6.30)$$

$$f_{VI}(\varphi_1) = e'_{t33} = e'_{t34} = e'_{t36} = \frac{1}{4}(1+\operatorname{tg}^2\varphi_1) = \frac{1}{4\cos^2\varphi_1}, \qquad (6.31)$$

Cota procentuală a pierderii tehnologice de energie electrică ascunsă (—), sau care rezultă peste cea reală (+), notată cu e_{tj} (%), datorită conexiunilor eronate ale contoarelor se poate determina cu ajutorul relației (6.32) :

$$e_{tj(\%)} = \frac{\Delta E_{tj} - \Delta E_{t1}}{\Delta E_{t1}}\ 100 = \left(\frac{\Delta E_{tj}}{\Delta E_{t1}} - 1\right) 100, \qquad (6.32)$$

Folosind curbele din figura 6.7, se poate utiliza și relația

$$e_{tj(\%)} = \left(\frac{e'_{tj}}{e'_{t1}} - 1\right) 100 \qquad (6.33)$$

Valorile cotelor procentuale de pierderi tehnologice ascunse (—) sau indicate peste cele reale (+) sînt prezentate în tabelul 6.3.

Se subliniază situațiile în care pierderile tehnologice determinate eronat rezultă mai mici decît cele reale, întrucît o parte din ele rămîn ascunse (cele cu — din tabel). Datorită concluziilor greșite, trase în baza unor balanțe eronate, pot apărea pierderi economice importante în perioade lungi prin faptul că nu se iau măsurile din timp, necesare în realitate pentru îmbunătățirea fac-

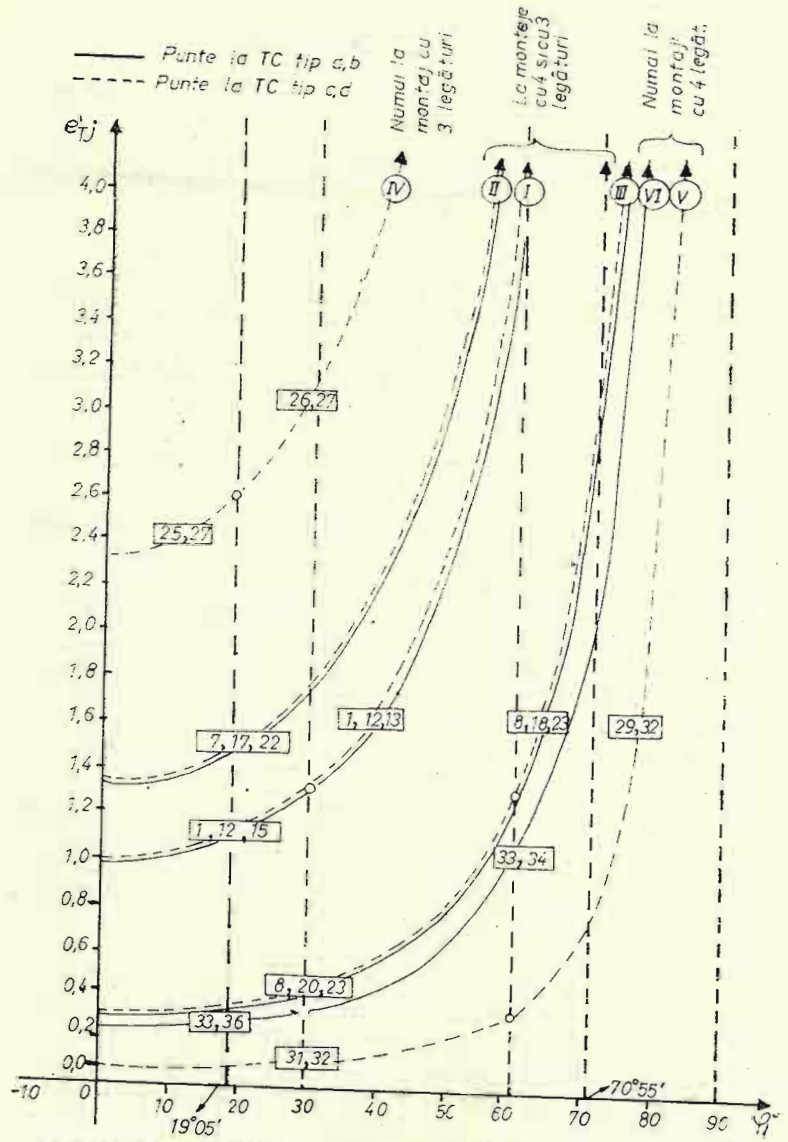


Fig. 6.7. Factorii specifici de pierderi tehnologice de energie electrică.

• *Tabelul 6.3*

Gruparea variantelor de funcționare după expresia factorilor de pierderi tehnice

Grupa variantelor de funcționare Numărul funcției caracteristice	Variantele de funcționare din grupă	Cota procentuală a pierderii tehnice ascunse (—) sau rezultată peste (+) cea reală
e'_{tj}	j	$c_{tj}[0]$
I	1, 12, 13 (15)	0
II	7, 17, 22, (24)	+33
III	8, 18, 20, (23)	—67
IV	25, 26,(27)	+133
V	29, 31, (32)	—91,67
VI	33, 34, (36)	—75

torului de putere și mărirea secțiunilor conductoarelor liniilor electrice, în vederea reducerii consumului propriu tehnologic de energie electrică. De asemenea, se evidențiază și aspectul care apare în problema complexă a balanțelor și anume că diferența dintre pierderile tehnologice reale și cele determinate pe baza indicațiilor eronate ale contoarelor conectate greșit, se identifică greu în practică, ea fiind camuflată în pierderile totale ca parte din pierderile comerciale.

Am văzut mai sus că pentru reducerea pierderilor comerciale, de obiecei se intreprind măsuri organizatorice de îmbunătățirea exploatării rețelelor și raționalizarea utilizării energiei electrice livrate consumatorilor. Or, prin acțiuni și măsuri organizatorice, pierderile tehnologice nu se vor reduce, cel mult se vor evidenția cantitativ mai aproape de valoarea lor reală, după un timp, dar oricum tardiv pentru a fi recuperabile din urmă.

Bibliografie

1. ANTONIU, I. S.. *Aparate de măsurat și măsurări electrice uzuale* (ed. a II-a), București, Editura Tehnică, 1962.
2. CHIRIȚĂ, GH. ș.a. *Cartea instalatorului electrician.* București, Editura Tehnică, 1966.
3. FELDMAN, V. ș.a. *Utilizarea rațională a energiei electrice.* București, Editura Tehnică, 1966.
4. HAMORI, A. *Villanyszerelés.* (Ed. a 7-a) Budapest, Müszaki könyvkiadó, 1974.
5. IONESCU, D. ș.a. *Aparate și metode de măsurat electrice.* București, Editura Didactică și Pedagogică, 1964.
6. POPA, M. ș.a. *Culegere de probleme de electrotehnică și electroenergetică.* București. Editura Didactică și Pedagogică, 1964.
7. STIRBULESCU, I. ș.a. *Utilizarea contoarelor electrice de curent alternativ.* București, Editura Tehnică, 1969.
8. * * * *Manualul inginerului electrician.* Vol. I. București, Editura Tehnică, 1963.
9. DRĂGAN, ST. *Exploatarea și întreținerea transformatoarelor de măsură.* București, Editura Tehnică, 1969.
10. * * * *Rezolvarea unor cazuri special de reconstituire a schemei de conexiuni la circuitele secundare de curent.* În : Energetica, Vol. XXV, nr. 10, 1977.
11. BACIU, A. ș.a. *Exploatarea și repararea rețelelor electrice.* București, Editura Tehnică, 1969.
12. IACOBESCU, GH. ș.a. *Rețele electrice. Probleme.* București, Editura Didactică și Pedagogică, 1977.
13. ALBERT. HERMINA, ș.a. *Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale.* București, Editura Tehnică, 1987.
14. * * * *Aspecte tehnico-economice privind funcționarea cu schemă de conexiune corectă a instalațiilor de măsurare a energiei electrice* În : Energetica (supliment) Anul VII vol. 2, 1982.

Control științific : Ing. ALEXANDRU EMANOIL
Redactor : Ing. MIHAELA SMEUREANU
Tehnoredactor : V. E. UNGUREANU
Coperta : DAN MARIN

Bun de tipar: 22.01.1988
Coli tipo : 8,75

c. 351 I. P. Informația
str. Brezoianu nr. 23—25
București